

**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

Arbetsmiljöns och vindavdriftens beroende av utrustning och inställning vid besprutning

**Influence of Quality and Adjustment of Spray Equipment
on Working Environment and Spray Drift**

Per Lagerfelt

**Institutionen för
lantbruksteknik
Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Agricultural
Engineering**

**Rapport 115
Report
Uppsala 1987**

ISSN 0283-0086
ISBN 91-576-3142-5

DOKUMENTDATABLAD för rapportering till SLU:s lantbruksdatabas LANTDOK, Svensk lantbruksbibliografi och AGRIS (FAO:s lantbruksdatabas)

Institution/motsvarande		Dokumenttyp	
Institutionen för lantbruksteknik		Rapport	
		Utgivningsår	Ärendebeteckning
		1987	
Författare/upphov			
Per Lagerfelt			
Dokumentets titel			
Arbetsmiljöns och vindavdriftens beroende av utrustning och inställning vid besprutning			
Referat			
			Målgrupp
			I, II
Ämnesord (AGROVOC)			
Vindavdrift Avsättning Sprutor Bekämpningsmedel			
Andra ämnesord			
Exposition Kontamination			
Övriga bibliografiska uppgifter			
Serie-/tidskriftstitel och volym/nr			ISBN
			91-576-3142-5
			ISSN
			0283-0086
Språk	Smf-språk	Omfång	Antal ref.
Svenska	Svenska/Engelska	66	
Projektnamn			
Spridningsutrustningens och spridningsmetodens inverkan på sprutförarens exposition för bekämpningsmedel			

Postadress
SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITETS BIBLIOTEK
Ullnabiblioteket
Förvärvssektionen/LANTDOK
Box 7071
S-750 07 UPPSALA
Sverige

Besöksadress
Centrala Ulluna 22
Uppsala

Telefonnummer
018-17 10 00 vx
018-17 10 97
018-17 20 23

Telex
76062 ULTBIBL S

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	Sid
FÖRORD.....	1
REFERAT.....	2
SUMMARY.....	3
INLEDNING.....	5
Transportens beroende av droppstorleken.....	6
Kombinerad effekt av vind och tyngdkraft på droppens transport...	8
Effekt av elektrostatisk laddning av dropparna på vindav-	
driften.....	12
Tillsatsmedlens inverkan på avdriften.....	14
Meteorologiska faktorerers inverkan på vindavdriften.....	16
MILJÖASPEKTER.....	18
Luft.....	19
Direktverkan.....	20
Kemiska föreningars koncentration och formuleringar.....	20
TIDIGARE GJORDA UNDERSÖKNINGAR.....	21
Mätning av potentiell hudexposition.....	22
Mätning av potentiell exposition genom inandning.....	22
Exposition-kontamination.....	23
SKYDDSATGÄRDER VID SPRIDNING AV BEKÄMPNINGSMEDEL.....	32
Befintliga rekommendationer.....	33
Droppstorlek-arbetsstryck.....	33
Vätskemängd.....	33
Bomhöjd.....	33
Väder och vind.....	34
Skyddsutrustning.....	35
SPRIDNINGSUTRUSTNINGENS OCH SPRIDNINGSMETODENS INVERKAN PÅ EXPOSITION OCH VINDAVDRIFT.....	36
Projektets syfte.....	36
Projektets uppläggning.....	36
Val av spridningsutrustningar och metoder.....	37
FÄLTFÖRSÖK.....	39
Försöksplan.....	39
Försöksfält.....	40
Fältproven.....	40
Injustering av utrustning.....	41
Analysutrustning.....	41
Resultat av fältförsök.....	42
LABORATORIEFÖRSÖK.....	51
Försöksplan.....	51
Mätmetoder.....	52
Resultat av laboratorieförsök.....	53

	<u>Sid</u>
FELKÄLLOR.....	61
Försöksutrustning.....	61
Väderleksförhållanden.....	61
Vindtunnel.....	62
DISKUSSION OCH SAMMANFATTNING.....	62
LITTERATUR.....	64
BILAGOR	

FÖRORD

I föreliggande arbete har syftet varit att under fält- och laboriemässiga förhållanden fastställa huruvida olika spridningsmetoder och utrustningar ger upphov till skillnader i exposition och avdrift. Arbetet har delvis inriktats på att undersöka eventuella samband mellan avdrift och procentuell volymsandel droppar mindre än 100 µm.

Medel till undersökningen söktes av agr. G. Friberg och agr. H. Hagenvall hos Arbetsmiljöfonden.

Jag vill tacka prof. K. Svensson och agr. H. Hagenvall för hjälp och goda råd under arbetets genomförande. Ett tack till D. Gustafsson i verkstaden för gott samarbete.

För värdefulla synpunkter vill jag tacka prof. H. Göhlich, inst. f. Maschinenkonstruktion, Technische Univ. Berlin, prof. A. Nordby och Dr. N. Bjugstad, Landbruksteknisk inst. Ås, D. Elisson och agr. T. Arvidsson, SLU.

Jag vill också tacka D. Torstensson, Svenska Hardi, K. Axner, Allan Rehnström AB och H. Reuterhäll, Ciba-Geigy för hjälp och materialanskaffning.

Ultuna i maj 1987

Per Lagerfelt

REFERAT

Projektets syfte var att under fält- och laboratoriemässiga förhållanden fastställa huruvida olika spridningsmetoder och utrustningar ger upphov till skillnader i exposition och avdrift samt fastställa storleken på dessa. Målet var att möjliggöra tillkomst av väl underbyggda rekommendationer.

Resultat. Av försöken framgår att temperatur, relativ luftfuktighet och framför allt vindstyrka, alltid har stor inverkan på vindavdriften. Det är främst droppar med en diameter mindre än 100 μm som är vindkänsliga. Genom att välja utrustning - metod som möjliggör applicering med låg procentuell volymsandel droppar mindre än 100 μm , kan avdriftsriskerna reduceras.

Ett signifikant samband föreligger mellan vindavdriven sprutvätska och procentuell volymsandel droppar mindre än 100 μm .

Tillsatsmedel kan i någon mån minska vindavdriften. Elektrostatisk laddning av sprutdropparna minskade ej vindavdriften i fältförsök.

Att sprutförarens arbetsmiljö och belastningen av den yttre miljön avsevärt kan förbättras framgick klart av avsättningsstudier utförda vid olika arbetstryck och i olika vindstyrkor.

Av utförda försök och litteraturstudier framgår att de moment som oftast leder till kontamination av sprutföraren och belastning av miljön utgörs av:

- o handhavande av koncentrerat preparat
- o rensning av igensatta munstycken
- o tömning-rengöring av spruttank och utrustning

SUMMARY

Ten different equipments were tested and the fluorescent tracer method was used for determination of deposited spray drift. Measurements were carried out both in the field and in laboratory studies where three wind velocities, 1.0, 2.5 and 4.0 m/s were used at different working pressures. In the field artificial collectors (filterpapers) were placed at 2.5, 5.0, 10.0, 15.0 and 20.0 m downwind and parallel to the driving direction. A wind tunnel was utilized in the laboratory studies and measurements took place at 2.5, 5.0, 10.0 and 15.0 m from application point. Droplet size measurements were carried out with the Malvern Particle Sizer for different nozzles and at different pressures. The volume percentage consisting of droplets less than 100 μm was recorded and used as the dependent variable for fitting a linear regression model. By fitting sample values to various curves it was found that either the linear ($Y=a+b\cdot X$) or the exponential ($Y=a\cdot e^{(b\cdot X)}$ ($a>0$)) curve would give the best correlation. The differences recorded in spray drift deposits for the equipments tested could mainly be attributed to differences in volume percentage less than 100 μm . One exception was the CDA sprayer (Micromax) which in spite of having the smallest amount of droplets less than 100 μm resulted in relatively high spray drift deposits.

It was verified that old recommendations, not to spray in strong winds (more than 3-4 m/s), reduce the pressure and to take relative humidity and temperature in consideration, are still valid. Furthermore it is of outmost importance to choose equipment and nozzle sizes which facilitates spraying with a low volume percentage of droplets less than 100 μm .

It is felt that improvement of the hazardous drift situation could fairly easy be implemented. But the devices for measuring temperature, relative humidity and wind velocity must be accessible for every spray operator. Another way or complementary way of reducing winddrift is further development of various kinds of windproof sprayer. The last 5-10 years of research work in spray application has proved that the biological effect can be improved by reducing the droplet size to achieve higher quality deposits. This will doubtlessly increase drift hazards unless adequate steps are taken.

The literature review revealed that contamination of the spray operator mainly occurs during:

- o handling of concentrated pesticides
- o cleaning of blocked nozzles
- o cleaning/emptying of spray tanks and equipment.

Further development and/or increased usage of following systems ought to efficiently contribute to the reduction of the mentioned hazards:

- o Closed filling systems
- o Dosage equipment for direct injection of the pesticide into the water, close to the nozzles
- o Self cleaning nozzles

INLEDNING

Den kanske mest kontroversiella frågan inom modern appliceringsteknik gäller vilken droppstorlek som är den mest optimala ur bekämpningssynpunkt. Allt mer pekar på att det breda droppstorleksspektrum med droppar i intervallet 100-600 μm som tidigare rekommenderats kommer att minskas. Med en droppstorlek av 100-150 μm räknar man med att kunna uppnå en bättre kvalitativ och kvantitativ avsättning och därmed kunna spara preparat. Appliceringsteknisk utrustning finns nu för att erhålla nästan vilket droppstorleksspektrum som önskas och med möjlighet att undvika de allra minsta dropparna som är mest utsatta för vindavdrift.

Sprutduschen från ett konventionellt munstycke består av ett stort antal droppar, dvs mycket små sfärer av vätska, oftast mindre än 0,5 mm i diameter. Droppstorleken är av stor betydelse om kemiska preparat skall appliceras effektivt och med en minimal hälso- och miljörisk. Dropparna i sprutduschen klassificeras i allmänhet efter droppstorlek, Matthews's (1979) klassificering visas i tabell 1. Aerosoler används i stor utsträckning för bekämpning av flygande insekter. En del aerosoler (30-50 μm) och droppar av dimstorlek (51-100 μm) är idealiska för att behandla blad med VLV- (minivolym sprutning, 5-50 l/ha) och ULV-(ultra low volume, < 5 l/ha) tekniken. När avdriften måste reduceras används droppar av medium eller grov storlek oberoende av applicerad volym. En sprutdusch med finare droppar används när man måste kompromissa mellan reducerad avdrift och höga krav på god täckning.

Tabell 1. Klassificering av droppar i sprutduschen efter droppstorlek (Matthews, 1979)

Volymmediandiameter (μm)	Klassifikation av droppar i sprutduschen
< 50	Aerosol
51-100	Dimma
101-200	Fin droppstorlek
201-400	Medium droppstorlek
> 400	Grov droppstorlek

På senare tid har det satsats mycket tid och pengar på att reducera avdriften, t ex har aerofoilen, en aerodynamiskt konstruerad vindskärm, utvecklats och testats med goda resultat. Skärmen skall enligt tillverkarna möjliggöra bekämpning med mindre droppar även under ogynnsamma vindförhållanden. För att minska belastningen på miljön och samtidigt reducera de hälsorisker som är förknippade med handhavande av kemiska preparat, arbetas det nu med utveckling av självrensande munstycken och doseringsutrustningar för direkt injicering av preparat i vätskeströmmen till spridarna.

Transportens beroende av droppstorleken

Vid val av droppstorlek för ett speciellt sprutobjekt måste man bl a beakta droppens luftfärd från munstycke till sprutobjekt. Droppens storlek är avgörande för den effekt som tyngdkraften, meteorologiska och elektrostatiska krafter har på droppens luftfärd. Senare tiders strävan att minska vätskemängderna har lett till att dropparna har fått göras mindre för att vidmakthålla en fullgod täckning av sprutobjektet.

Med minskad droppdiameter ökar snabbt den area som sprutvätskan kan täcka. Om dropparna innehåller flyktig vätska kommer de att avdunsta mycket snabbt. Evaporationshastigheten avtar efterhand som den omgivande luften mättas. Förändringar i koncentration orsakade av icke flyktiga beståndsdelar kan sänka lösningsmedlets ångtryck. Nackdelen med vatten, den vanligaste spädningsvätskan för kemiska bekämpningsmedel, och några av de organiska lösningsmedlen som används i emulgerbara koncentrat, är att de alla är flyktiga. Amsden (1962) visade att livslängden mätt i sekunder för en vattendroppe kan beräknas med formeln:

$$t = \frac{d^2}{80 \cdot \Delta T}$$

där d = droppens diameter (µm)

t = droppens livslängd (s)

ΔT = skillnad i temperatur (°C)

mellan torr och våt termometer

Små vattenbaserade droppars storlek avtar mycket snabbt redan vid en temperatur av 20°C och 80 % relativ luftfuktighet och kvar blir en aerosol bestående av flyktigt material eller en fast partikel (tabell 2).

Tabell 2. Livslängd och fallsträcka för droppar i stillastående luft vid olika temperaturer och lufthastigheter (Matthews, 1979)

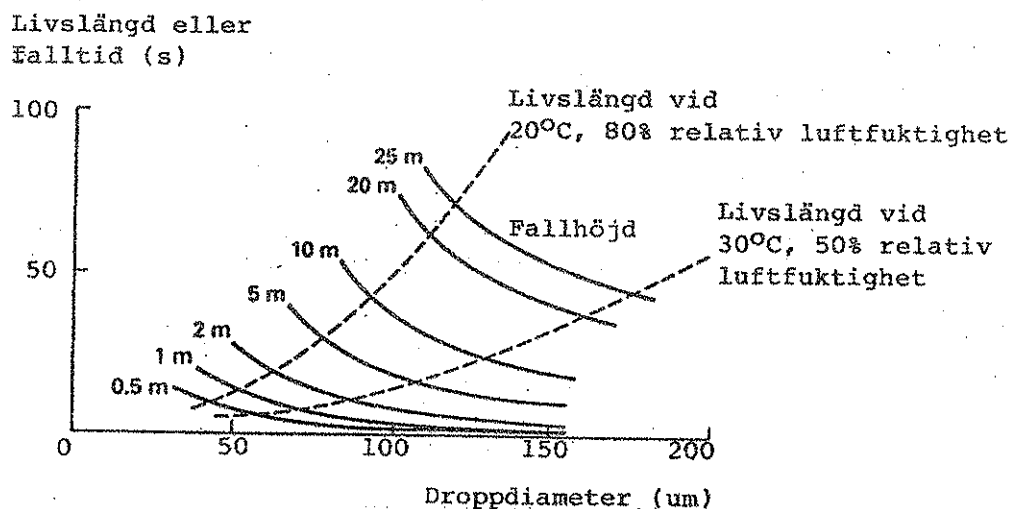
Temp. (°C) 20					Temp (°C) 30				
ΔT (°C) 2,2					ΔT (°C) 7,7				
RH (%) 80					RH (%) 50				
Ursprunglig dropp-	Livslängd	Fallsträcka	Livslängd	Fallsträcka	Ursprunglig dropp-	Livslängd	Fallsträcka	Livslängd	Fallsträcka
diameter (μm)	(s)	(m)	(s)	(m)	diameter (μm)	(s)	(m)	(s)	(m)
50	12,5	0,127	3,5	0,032	50	12,5	0,127	3,5	0,032
100	50	6,7	14	1,8	100	50	6,7	14	1,8
200	200	81,7	56	21	200	200	81,7	56	21

Den teoretiska sträcka en vattendroppe kan tillryggälägga under gravitationskraftens inverkan innan allt vatten har avdunstat ges av formeln:

$$\frac{1.5 \cdot 10^{-3} \cdot d^4}{80 \cdot \Delta T} (\text{cm}) \quad \text{där } d = \text{droppens begynnelsediameter}$$

ΔT = skillnad i temperatur mellan våt och torr termometer

Johnstone (1971) redovisar falltiden för några höjder och livslängden vid två rådande klimatiska förhållanden relaterade till droppdiametern (fig. 1).



Figur 1. Falltiden för några olika fallhöjder och livslängden vid två klimatiska situationer relaterade till droppdiametern (Johnstone, 1971).

Kombinerad effekt av vind och tyngdkraft på droppens transport

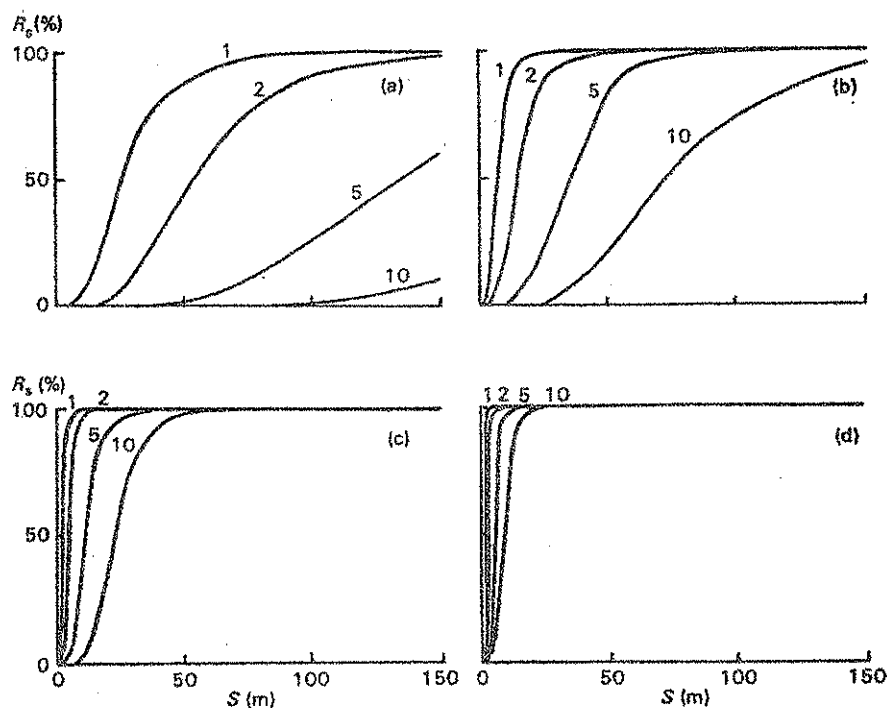
Den energi som fordras för att droppen skall transporteras till och avsättas på sprutobjektet kan uppnås på flera olika sätt. Munstycket kan placeras så nära sprutobjektet att utgångshastigheten är tillräcklig för att droppen skall träffa målet. I en del bekämpningssituationer utnyttjas en luftström för transport av droppen eller för ökning av anslagskraften. Nackdelen med båda dessa tillvägagångssätt är hög dropphastighet nära munstycket vilket kan leda till ojämn avsättning vid varierande närhet till målet. Ofta är det emellertid en kombination av vind och gravitation som bestämmer de små dropparnas öde, fallhastigheten får då ökad betydelse. Då droppar alstras på sprutobjektets vindsida kan transportsträckan beskrivas matematiskt om några förenklade antaganden görs:

- störningar från luftens rörelse försummas,
- transport av droppen äger rum i stabil, isotermisk luft över jämn mark utan turbulenta luftrörelser.

Med dessa antaganden blir transporten av sprutdroppen släppt från en bestämd höjd (H) en funktion av vindhastighet (u) och fallhastighet. Tiden det tar för vertikalt fall från höjden (H) vid hastigheten (V_f) är H/V_f . Den horisontella sträcka (S) som tillryggaläggs på den tiden med vindhastigheten (u) är;

$$S = H \cdot u / V_f$$

Genom att höjden justeras när vindhastigheten förändras är det möjligt att hålla produkten $H \cdot u$ konstant, så att droppar med en bestämd storlek alltid transporteras lika långt med vinden. Om droppstorleksfördelningen är känd kan enligt Johnstone (1972) en grafisk metod användas för att bestämma avsättningskurvan. Figur 2 visar fyra sådana kurvor som illustrerar avsatt volymsprocent som funktion av den sträcka dropparna transporteras med vinden för olika värden på $H \cdot u$ (m^2/s) för droppstorleksspektra med VMD-värdena 35, 70, 140 och 280 μm med $\bar{x}_g=1,28$ (\bar{x}_g = geometrisk standardavvikelsen)



Figur 2. Avsättning genom sedimentation (R_s) som funktion av transportsträcka med vinden (S) för droppstorleksspektra med $\bar{x}_g=1,28$ och VMD (a) 35, (b) 70, (c) 140, (d) 280 μm vid värdet 1, 2, 5 och 10 m^2/s på produkten $H \cdot u$ (Johnstone 1972).

Med lugna stabila vindförhållanden avses en vindhastighet mindre än 2 m/s. Produkten $H \cdot u$ kan vara 1 eller 2 m²/s för en höjd av 1 m när t ex bärbara sprutor används, eller 2-3 m²/s för flygsprutning. Med VMD 280 µm uppskattas det att 50 % av sprutduschen avsätts inom 5 m från appliceringspunkten när produkten $H \cdot u = 5$ m²/s, och närmare än 2 m för en bärbar utrustning för vilken $H \cdot u = 2$ m²/s. På samma sätt anges avsättningen för droppar med diameter 140, 70 och 35 µm för flygbesprutning/bärbar spruta med respektive $H \cdot u$ värde 10 och 4 m²/s som 22/8 m, 75/30 m och 270 (extrapolerat värde)/108 m.

Instabilitetseffekten leder normalt till att den här indikerade bandvidden vid antagande om försumbara faktorer ökar. En del droppar avsätts närmare appliceringspunkten, under det att en del transporteras betydligt längre avstånd. Threadgill and Smith (1975) mätte den vertikala luftströmmen till ett genomsnittligt värde av ca 3 cm/s (varierade mellan 2-10 cm/s), som på ett markant sätt påverkade transporten av droppar mindre än 70 µm.

En droppe som släpps i stillastående luft kommer att accelereras nedåt under inverkan av gravitationskraften ända tills ett jämviktsförhållande uppnås med det aerodynamiska motstånd som utövas på droppen. Den hastighet som droppen då har kallas här för sluthastighet. Detta tillstånd uppnås vanligtvis på mindre än 25 mm avstånd från munstycket av droppar mindre än 100 µm, och inom 70 cm för 500 µm stora droppar. Droppens storlek, densitet och form, samt luftens densitet och viskositet påverkar tillsammans den slutliga hastigheten. Matthews (1979) anger formeln;

$$V_t = \frac{g \cdot d^2 \cdot \zeta_d}{18} \quad \text{där } V_t = \text{sluthastigheten (m/s)}$$

$$d = \text{droppens diameter (m)}$$

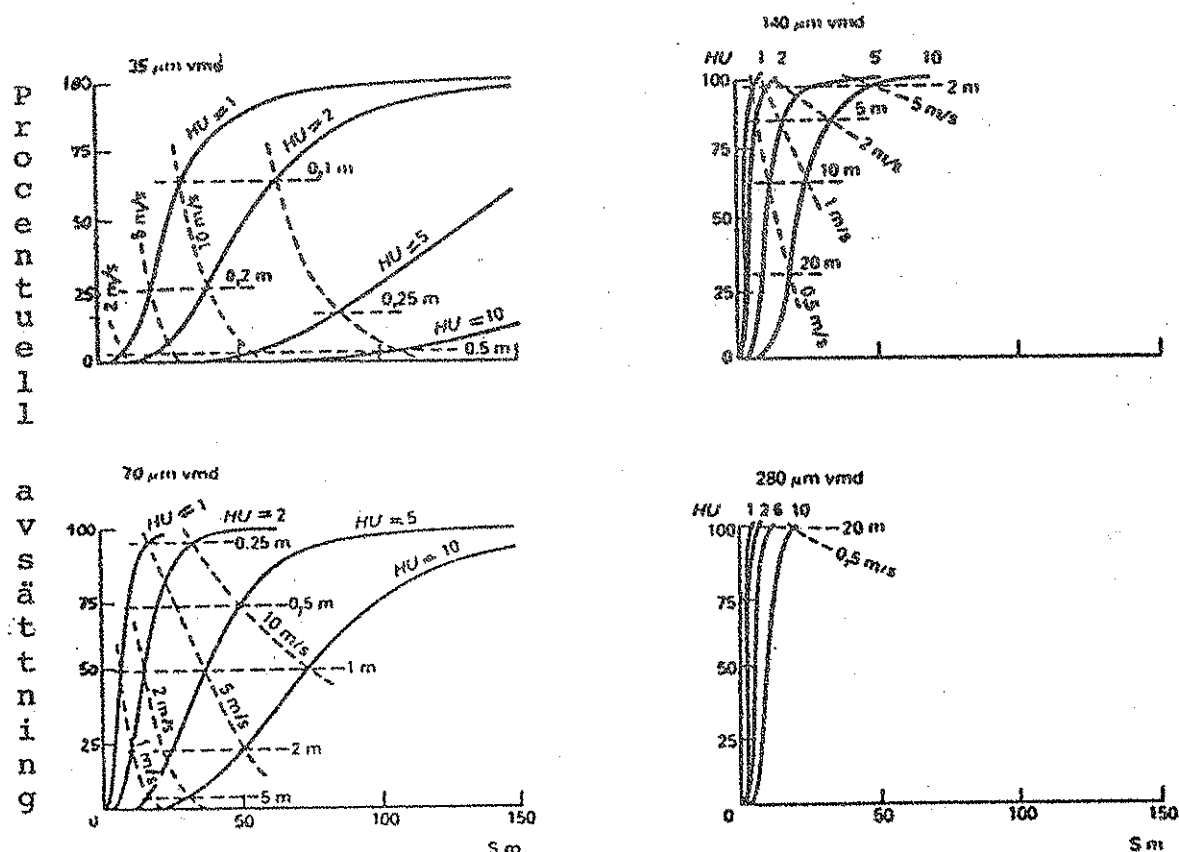
$$\zeta_d = \text{droppens densitet (kg/m}^3\text{)}$$

Den faktor som har störst inverkan på sluthastigheten är droppstorleken. Sluthastigheten för några droppstorlekar i intervallet 1-500 µm ges av Matthews (1979) i tabell 3. Större droppar kan deformeras p g a aerodynamiska krafter så att den effektiva diametern reduceras och sluthastigheten blir mindre än den beräknade för en sfär.

Tabell 3. Sluthastighet och falltid för sfärer i stillastående luft
(Matthews, 1979)

Dropp- diameter (μm)	Densitet (kg/m^3)		Falltid från 3 m (densitet= $1,0 \text{ kg}/\text{m}^3$)
	1,0	2,5	
	Sluthastighet (m/s)		
1	0,00003	0,000085	28,1 h
10	0,003	0,0076	16,9 min
20	0,012	0,031	4,2 min
50	0,075	0,192	40,5 s
100	0,279	0,549	10,9 s
200	0,721	1,4	4,2 s
500	2,139	3,81	1,65 s

Beroende på den låga sluthastighet som droppar mindre än $30 \mu\text{m}$ har kommer transporten i stillastående luft att ta flera minuter. Teoretiskt kan en $1 \mu\text{m}$ stor droppe som släppts från tre meters höjd i en vind parallell med marken och med styrkan $1,3 \text{ m/s}$ transporteras 150 km i vindens riktning innan den avsätts. Johnstone (1971) har beräknat andelen sprutvätska som avsätts på olika avstånd från munstycket för olika vindstyrkor och H₂O-värden (fig.3). I praktiken är vindhastigheten inte likformig, förutom turbulens så avtar vindhastigheten med avtagande höjd över markytan. Skärningspunkterna som ges av heldragna och streckade linjer i figur 3 indikerar förlusten orsakad av evaporation från sprutdusch av rent vatten vid 30°C och relativa luftfuktigheten 50% vid några olika höjder och vindhastigheter. Det står helt klart att avdriften reduceras markant med droppar större än $200 \mu\text{m}$. Flertalet droppar mindre än $70 \mu\text{m}$ transporteras lätt mer än 100 meter av vinden.



Figur 3. Procentuell avsättning vid olika avstånd från munstycket för olika värden på produkten H·u och droppstorleken. Skärningspunkten mellan streckade linjer och heldragna kurvor indikerar evaporationsförlusten (läs som 100-procentuell avsättning) för sprutdusch bestående av vatten vid 30°C och 50 % rel. fuktighet vid några olika vindhastigheter (streckade kurvor), och höjden (streckade linjer) (Johnstone, 1971).

Avståndet som droppar transporteras med vinden beror i stor utsträckning på vilken typ av vegetation eller andra hinder som finns i vindriktningen. Avdrift kan förekomma över avsevärda avstånd på släta obevuxna fält. En grödas bladverk kan i sådana situationer fånga upp det mesta av avdriften.

Effekt av elektrostatisk laddning av dropparna på vindavdriften

Genom laddning av droppar införs ytterligare en kraft förutom vind- och gravitationskrafterna. I ett elektriskt fält med styrkan E utsätts en droppe med laddningen q för en kraft $q \cdot E$ i fältets riktning. Beroende på vind- och gravitationskrafternas relativa styrka kommer droppen att mer eller mindre följa riktningen på det elektriska fältet som är beroende

av typ av laddningsanordning, sprutdusch och det jordade sprutobjektets egenskaper. Generellt gäller att för laddade droppar med diameter större än $250\text{ }\mu\text{m}$ kommer tyngdkraften fortfarande att vara den dominerande kraften, laddningen accelererar endast droppens luftfärd. För mycket små droppar med diameter $25\text{ }\mu\text{m}$ eller mindre kan vindpåverkan mycket väl vara dominerande om inte droppen är mycket nära sprutobjektet och i ett område med starkt elektriskt fält. Det är kanske för droppar i storleksintervallet $30\text{--}100\text{ }\mu\text{m}$ som elektrostatisk laddning har den mest signifikanta effekten. Coffee (1979) har visat att med en potentiell skillnad på 25 kV som verkar på $0,4$ meter blir det maximala kraftfältets styrka i storleksordningen 625 kV/m . I ett sådant fält kan en droppe med diametern $100\text{ }\mu\text{m}$ och laddningen $3,7 \cdot 10^{-12}$ coulomb utsättas för en kraft på $2,3 \cdot 10^{-7}\text{ N}$, vilket kan jämföras med en gravitationsstyrka på $5 \cdot 10^{-9}\text{ N}$ i det aktuella fallet. Här ligger förhoppningarna om bättre kontroll och precision vid applicering av små droppar över korta avstånd.

Det har hävdats att en av fördelarna med roterande spridare jämfört med konventionella hydrauliska munstycken med ungefär samma VMD-värde, är att dropparna skulle vara mindre utsatta för vindavdrift (Bals, 1975, Taylor och Merritt, 1975). Detta kan ha sin riktighet, men Lake et al (1979) hävdar att en jämförelse av munstyckena inte kan baseras enbart på droppstorleken, utan det är också nödvändigt att beakta droppens falltid, eftersom ju längre den är luftburen desto mera kommer den att påverkas av vind och evaporation. Falltiden för droppar som produceras med spridare som roterar kring en vertikal axel kan beräknas eftersom den vertikala utgångshastigheten är noll. Man kan också antaga att falltiden inte påverkas av luftströmmar genererade av spridaren eftersom dropparna snabbt förs bort i horisontell riktning. Lake et al (1979) visar i en laboriestedieundersökning hur falltiderna förhåller sig för droppar producerade av vanliga spaltspridare utan laddning samt laddade och oladdade droppar med noll utgångshastighet i vertikal riktning (tabell 4).

Tabell 4. Falltidernas relativa förhållande för droppar med fallhöjd 0,5 meter, alstrade av spaltspridare, och laddade och oladdade droppar som släpps med utgångshastigheten noll m/s (Lake et al, 1979)

	Droppdiameter, (μm)		
	50	100	200
	Falltider, relativt förhållande		
Spridare 8002, tryck 2 bar, oladdade	1	1	1
*Utgångshastighet noll m/s, laddade	2,8	3,6	6,7
" " " oladdade	26,8	14,6	13,8

*T ex droppar alstrade av en roterande spridare som kastar dropparna horisontellt.

Dropparna från roterande spridare har för fallhöjden 0,5 meter längre falltid. Laddade droppar har kortare falltid än oladdade men betydligt längre falltid än lika stora droppar alstrade av en konventionell spalt-spridare. Det framgår också att skillnaden mellan laddade och oladdade droppar är störst för dropparna med minst diameter. Vid framräkning av dessa värden har evaporation och eventuell turbulens ej beaktats.

Tillsatsmedlens inverkan på avdriften

Jämförande studier av oljeblandningar och rent vatten i vindtunnel visade att den uppsamlade mängden sprutvätska inom 25 cm från munstyckets mittlinje, mätt i procentuell mängd av utsprutad vätska ökade när oljeblandningar användes (tabell 5). Oljorna är vegetabiliska, för sprutning med munstycke 11004 var oljeblandningen 1,25 % och med munstycke 11002 2,5 %.

Tabell 5. Procentuell volym uppsamlad vätska inom 25 cm från munstyckets mittlinje, bomhöjd 40 cm, vindstyrka 4 m/s (Alness)

Sprutvätska	Munstycke	
	110 04	110 02
	Uppsamlad vätska (%)	
Vatten	66,7	59,3
Codaside	83,5	77,4
Karlshamns 424	84,5	76,5
" 425	83,8	74,6

Alness observerade att de vattenkänsliga papper som placerats i vindtunneln på 3,5 och 6,5 meters avstånd från munstycket färgades mer när enbart vatten sprutades vilket skulle tyda på en större avdrift.

Det finns inte särskilt mycket publicerat material på avdriftens storlek från LV-utrustning, speciellt inte som jämför olja och vatten som bärare. I en amerikansk undersökning av Bode och Zain testades sojabönsoljans potential som bärare för LV-applisering av pesticider. Utrustning som användes var Micromax (2000 och 3000 varv per min), lufttillsatsspridare (lufttryck 0,28-0,8 bar), tvåhåls spaltspridare 2-60-8001 (tryck 2,8-4,2 bar) och spaltspridare 8002 (tryck 2,8-4,2 bar).

Avsatt avdrift från Micromax och lufttillsatsspridare var beroende av inställningsförhållandena. Med ett varvtal på 2000 varv per min blev avdriften större när olja användes som bärare istället för vatten. Vid varvtalet 3500 varv per min registrerades ingen skillnad i avdrift för olja och vatten som bärare. Lufttryck mindre än 0,56 bar var otillräckligt för att bryta upp sprutduschen när olja användes. Lufttryck större än 0,7 bar gav en tillfredsställande sprutdusch. Men med vatten som bärare ökade avdriften när lufttrycket ökade.

Med hydrauliska spridare kunde avdrift påvisas på större avstånd från appliceringspunkten när olja brukades istället för vatten. Tvåhåls spaltspridare gav större avdriftsavsättningar med både olja och vatten jämfört med konventionella spaltspridare.

För Micromaxspridaren uppmättes en större avsättning inom ett avstånd av 15 meter jämfört med konventionella och spaltspridare, vilket förklaras

av riktningen hos dropparnas hastighetsvektor som för Micromaxspridaren är horisontell och för spaltspridarna vertikal.

Avdriftsavståndet för samtliga spridare blev större med olja jämfört med vatten. Förklaringen ligger i oljans icke-evaporativa egenskaper. Små vattendroppar evaporerar helt och hållet och tillåter den kvarvarande preparatpartikeln att diffundera in i atmosfären. Oljedropparnas storlek förändras däremot inte och dropparna kan därför transporteras längre avstånd innan de avsätts.

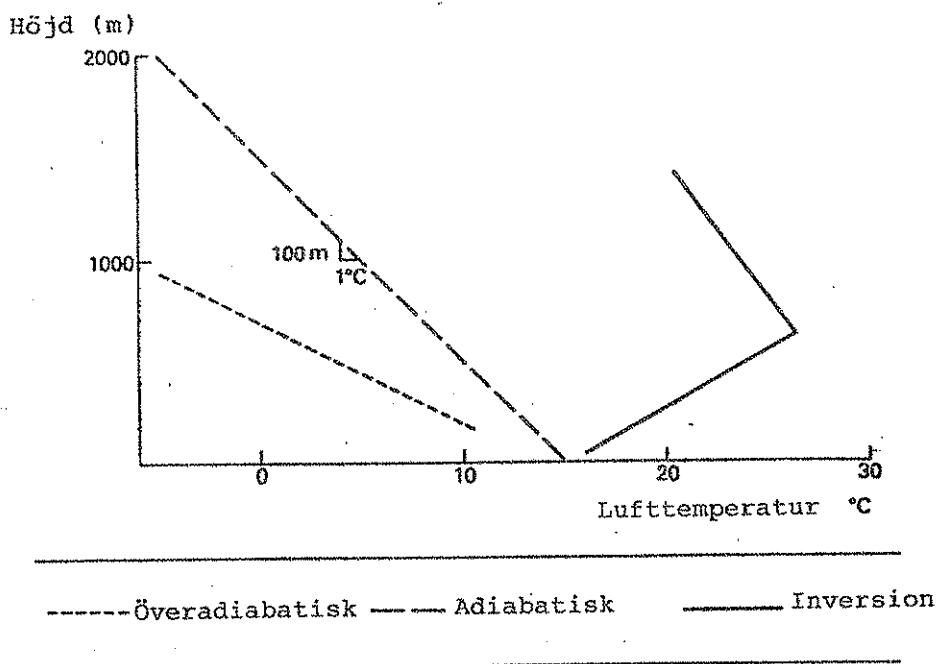
Som en följd av den mindre droppstorleken resulterade användning av utrustning för LV-applisering i större avdriftsavsättningar jämfört med spaltspridare och vätskemängder över 200 liter per hektar.

Meteorologiska faktorerers inverkan på vindavdriften

Andelen sprutvätska som når sprutobjektet påverkas mycket kraftigt av det lokala klimatet. För att erhålla ökade kunskaper om de meteorologiska faktorernas inverkan på droppens transport, livslängd och verkan måste tillgång på information om klimatet nära marken finnas. Huvudfaktorerna utgörs av temperatur, vindhastighet, vindriktning och relativ fuktighet.

Lufttemperaturen påverkas av det atmosfäriska trycket vilket avtar med höjden över marken. När luftmassan stiger utan att tillföras eller förlora värme expanderar den och kyls. Normalt avtar temperaturen med ca 1°C per 100 meter. Temperaturen kan emellertid avta betydligt snabbare. Under sådana förhållanden kommer en luftmassa som befinner sig nära markytan och uppvärmd genom strålning från solen att börja stiga och fortsätta att göra så ända tills den inte längre är varmare och lättare än omgivande luften. Denna konvektionsrörelse av luftmassan resulterar i en instabil atmosfär och turbulenta förhållanden. En temperaturminskning mindre än den normala skapar en inhibering av uppåtgående luftströmmar så att atmosfären blir stabil. När marken förlorar värme genom strålning och kyls snabbare än luften ovanför kommer temperaturen att öka med höjden och ett s k omvänt förhållande existerar (figur 4). Detta är vanligt

när en varm solig dag följs av en kväll med klar himmel. Dimma förekommer ofta under dessa förhållanden när vinden är svag och luftflödet antar en jämn och laminär strömning.



Figur 4. Temperaturprofiler (Yates & Akesson, 1973).

Den mest använda parametern för att uttrycka meteorologiska faktorer är det dimensionslösa Richardsons tal (Richardson, 1920) som baseras på mätningar av vindhastighet och temperatur vid två höjdnivåer. Coutts och Yates (1968) refererar till Richardsons tal i en förenklad form som ett stabilitetsförhållande SR, eftersom det är enklare att noggrant mäta en medelvindhastighet jämfört med en hastighetsgradient.

$$SR = \frac{(T_2 - T_1) \cdot 10^5}{U^2} \quad \text{där}$$

SR = stabilitetsförhållande

T_2 = temperatur (°C) på
10 meters höjd

T_1 = temperatur (°C) på
2,5 meters höjd.

U = vindhastigheten (cm/s)
på 5 meters höjd

Ett positivt stabilitetsförhållande indikerar omvända temperaturförhållanden, som är idealiska för applicering av aerosoler för bekämpning av flygande insekter. Ett negativt förhållande uppträder i samband med turbulenta luftrörelser.

MILJÖASPEKTER

Dr Chester Himmel har uttalat sig angående kemisk bekämpning med följande ord: "Agricultural Spraying is the most inefficient Industrial Process on Earth". Sanningen i detta uttalande stöds av kunskapen att endast 1 - 2 % av applicerad herbicidmängd är biologiskt verksam (Graham-Bryce, 1977).

Man kan anta att pesticidens effektivitet i väsentlig utsträckning är relaterad till sprutprocessens säkerhet. Men det som inte har någon avsedd biologisk verkan måste nödvändigtvis dyka upp som föroreningar i en eller annan form. Med detta i tankarna måste behovet av att förbättra effektiviteten för att samtidigt öka säkerheten betraktas som ett huvudmål om inte kemisk bekämpning skall utsättas för välgrundad kritik ur miljö- och hälsosynpunkt.

Ett antal miljöproblem har sin orsak i bekämpningsmedelsanvändningen. Dessa problem har inträffat beroende på medlens akuta toxiska verkan eller genom deras benägenhet att transporteras i olika fysikaliska och biologiska system. Kroniska effekter har uppmärksamats hos en del arter eller i speciella ekosystem som många gånger påträffats långt ifrån den plats där bekämpningen utförts. Beroende på den allmänt låga akuta toxiska verkan har herbicider studerats förhållandevis lite i jämförelse med andra kemikalier. Men utan tvekan har de potential att orsaka förändringar i miljön och det finns också exempel på att så är fallet. Det arbete som krävs för att påvisa de ofta svårbestämbara effekter vilka kan inträffa som en följd av kemisk bekämpning är både tidskrävande och svårt att utföra. Den omfattande användning av herbicider i kombination med vindavdrift och flyktighet som kan inträffa motiverar fortsatt försiktighet. Den avsedda effekten av pesticider är låg och varierar mellan 0.03-60 % (Graham-Bryce, 1976). När pesticider appliceras

kommer det mesta av kemikalien att direkt eller indirekt träffa marken. En del kommer att driva med vinden under eller efter utförandet av bekämpningen och därefter hamna på marken eller i vattnet. Avrinning från behandlade fält är ytterligare en källa till förekomsten av pesticider i ytvattnet. Dessutom behandlas ibland vattendrag avsiktligt med pesticider för bekämpning av akvatiska ogräs, sjukdomsspridande insekter och oönskade fiskarter.

Luft

Det är allmänt vedertaget att förekomsten av pesticider i atmosfären i huvudsak är orsakad av vindavdrift och de kemiska preparatens flyktighet i samband med behandling av grödor, jord och vatten.

Avdrift uppstår givetvis vid behandlingstidpunkten och är starkt metodberoende, ULV-behandling från luften är att betraktas som ett extremt fall. Partiklar med diameter mindre än 3 μm har en falltid på ca ett år från 1000 meters höjd och partiklar mindre än 1 μm blandas med luft liksom gaser (Heinisch et al, 1976).

Maximal flyktighet inträffar strax efter behandling, när pesticiden gradvis absorberas och binds (Ebeling, 1973). Avdunstningsprocessen påverkas av vind och temperatur. Förflyktigande av jordverkande pesticider kan reduceras genom jordbearbetning. Andra möjliga vägar som pesticider kan nå atmosfären på är genom jordflykt orsakad av vinderosion och genom förbränning av material innehållande pesticider, t ex förbrukade preparatförpackningar och genom halm och stubb-bränning. Det senare har enligt Wheatly (1973) troligtvis inte någon signifikant betydelse.

I vilken utsträckning global transport av pesticider via atmosfären förekommer är inte känt. Inte heller i vilken omfattning pesticider reagerar under inverkan av strålning, syre och vatten under naturliga omständigheter. Heinisch et al (1976) uppskattade att mellan 50-95 % av de pesticidmängder som når atmosfären bryts ned som en kombinationseffekt av ultraviolett strålning och syre.

Atmosfären kan jämföras med en jätteugn där kemikalierna bryts ned och är på så sätt ansvarig för att biosfären rensas. På det hela taget får den ekologiska risken med hänsyn till närvaron av pesticider i luften betraktas som liten, speciellt med tanke på luftföroreningar i allmänhet. Denna slutsats är i mångt och mycket baserad på gissningar och endast fortsatt forskning kan förse oss med fler definitiva svar.

Direktverkan

En avsevärd mängd litteratur finns angående klorerade insekticider (speciellt DDT) och deras nedbrytningsprodukter, och hur dessa påverkar ett stort antal arter, speciellt rovfåglar (Newton, 1979). Dessa föreningar har ofta akut och/eller kronisk toxikologisk effekt. Under 50- och 60-talet skedde en markant minskning av rovfågelpopulationerna. I England infördes successivt frivillig begränsning av användandet av DDT, vilket i stort sett har varit en framgångsrik metod. Alla rovfågelstammar med något enstaka undantag ökar nu i England (Newton, 1984). Svårnedbrytbara klorerade föreningar har starkt bidragit till nedgången av utterstammen (Chania och Jefferies, 1978) och att antalet fladdermöss kraftigt minskat (Jefferies, 1972) i England.

Kemiska föreningars koncentration och formuleringar

När riskerna med kemiska preparat uppskattas med utgångspunkt från toxisk verkan, är det betydelsefullt att förstå vilken del av formuleringen som giftverkan orsakas av. Det orala LD₅₀-värdet (råtta) för ren malathion är 10000-13000 mg per kg kroppsvikt (WHO 1978), samma värde för den tekniska produkten är vanligtvis mellan 2000-3000 mg per kg kroppsvikt. Skillnaden förklaras av närvaron av föroreningar i den tekniska produkten (WHO 1979).

Det är möjligt att beräkna LD₅₀-värdet för en formulering med utgångspunkt från LD₅₀-värdet för den tekniska produkten enligt formeln;

LD50-värdet för teknisk produkt • 100

procentuell inblandning av teknisk produkt i formuleringen

Problemet med formeln är att den försummar inverkan av eventuell toxisk verkan hos spädningsmedlet.

Pesticider appliceras som formuleringar bestående av en blandning av den tekniska produkten och ett antal tillsatsmedel. Eftersom tillsatsmedlen kan vara av skiftande teknisk kvalitet måste de föroreningar som de innehåller beaktas. Det finns exempel på att föroreningar har haft mycket större toxikologisk verkan på däggdjur än vad den rena pesticiden haft (Kips, 1985). När föroreningarna i formuleringen appliceras kommer de att förändras vilket eventuellt kan leda till mineralisering av den aktiva substansen genom fysikaliska, kemiska och biokemiska processer.

Metalliskt kvicksilver, möjligen härrörande från bekämpning med arylkvicksilverföreningar i jordbruksbaserade ekosystem, kan på biologisk väg omvandlas till metylkvicksilver, en mycket toxisk förening som kan tas upp av levande organismer (Heinisch, 1978). Tidigare var det allmänt accepterat att endast systemiskt verkande herbicider kunde tas upp, transporteras och möjligen lagras upp i växtens vävnad. Nu finns det däremot klara bevis för att många icke-systemiska pesticider kan tränga in i en plantas system (Heinisch, 1978; Dejonckeere et al, 1975, 1976). Märkning med radioaktiva isotoper av preparat har visat att en del av isotoperna som applicerats som jordherbicider återfinns som restsubstanser i plantorna. Enligt Kaufman et al (1976) är dessa restsubstanser ej extraherbara med vanliga analytiska metoder.

TIDIGARE GJORDA UNDERSÖKNINGAR

En hel rad undersökningar har utförts i olika länder för att kartlägga de risker som är förknippade med handhavande av kemiska växtskyddspreparat i samband med bekämpning. Vad man kanske i första hand har koncentrerat sig på är följande frågeställningar:

- att bestämma den totala kontaminationen vid tillblandning av sprutvätska från koncentrerat preparat och vatten,
- att bestämma totala kontaminationen vid spridning av pesticider med olika sprututrustningar och att rangordna dem med hänsyn till sprutoperatörens exposition,
- att undersöka vilka delar av kroppen som är speciellt exponerade,
- att ta fram basdata för ett standardiserat mätförfarande av sprutförarens exposition av bekämpningsmedel.

Mätning av potentiell hudexposition

Den metod som ofta används är den som beskrivs i WHO:s standardprotokoll för fältmätning av sprutförarens exposition av bekämpningsmedel (WHO 1982). Metoden innebär användning av skyddskläder typ engångsoverall, skyddshandskar, huvor och nylonstrumpor. Efter varje delmoment i sprutförfarandet byts kläderna ut mot nya. De använda skyddskläderna analyseras för att utröna hur stor kontaminationen av armar, handskar, strumpor, huva, och främre och bakre del av kroppen har varit.

Mätning av potentiell exposition genom inandning

Sprutföraren förses med en bärbar pump/fläkt som suger luft genom ett glasfiberfilter som är placerat i andningszonen. Pumpens kapacitet kan variera, men ett riktvärde är fyra liter per minut. Provtiden registreras och efteråt sker analys av filtret.

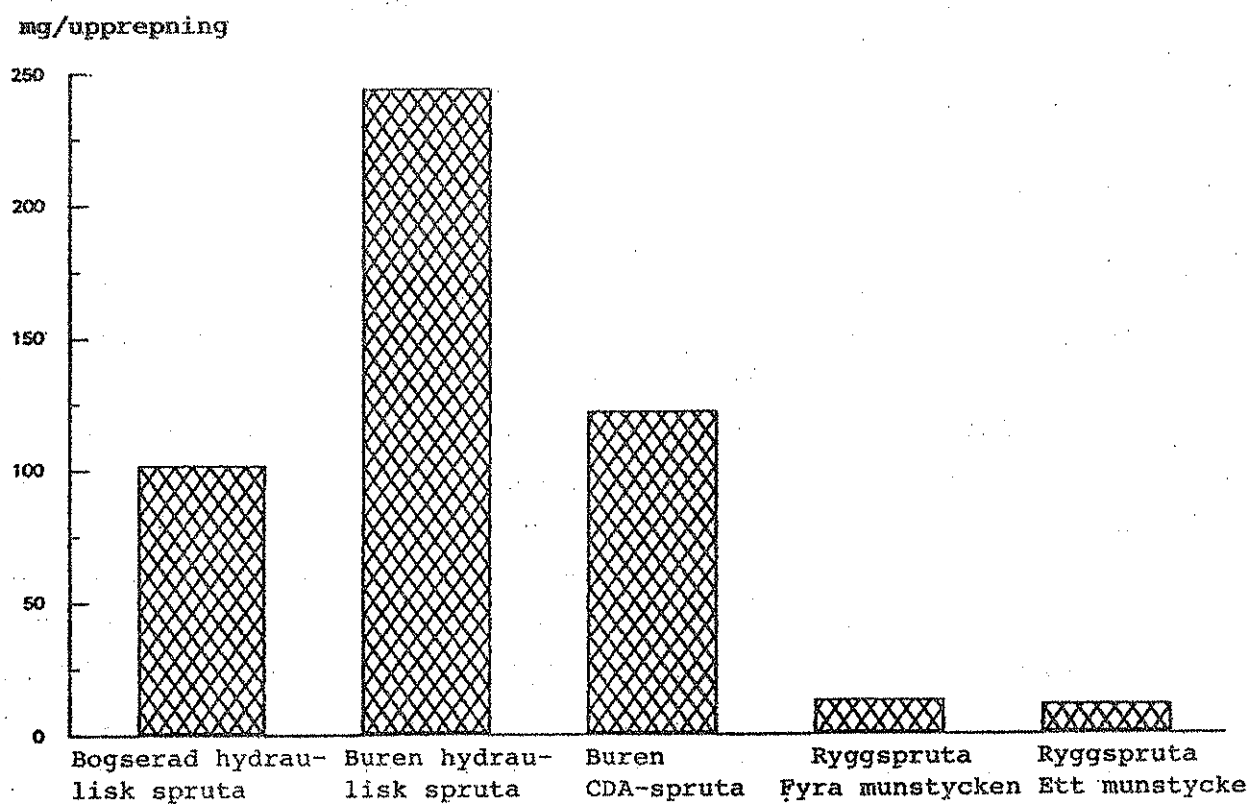
I ett försök utfört av British Agrochemicals Association Limited (B.A.A.) (1983) med herbiciden 2,4-D framkom att vid användande av standardproceduren var koncentrationen på uppsamlingsfiltren ej mätbar. Gränsen för mätbarhet var 15 µg per filter. I ett av försöken där rygg-spruta provades, användes en metod med förbättrad mätkänslighet. Uppmätt

mängd blev 5-10 µg per filter, vilket är liktydigt med en i medeltal luftburen koncentration av 2,4-D av 21 µg per m³. Detta motsvarar en potentiell inandningsexposition av 36 µg per timme.

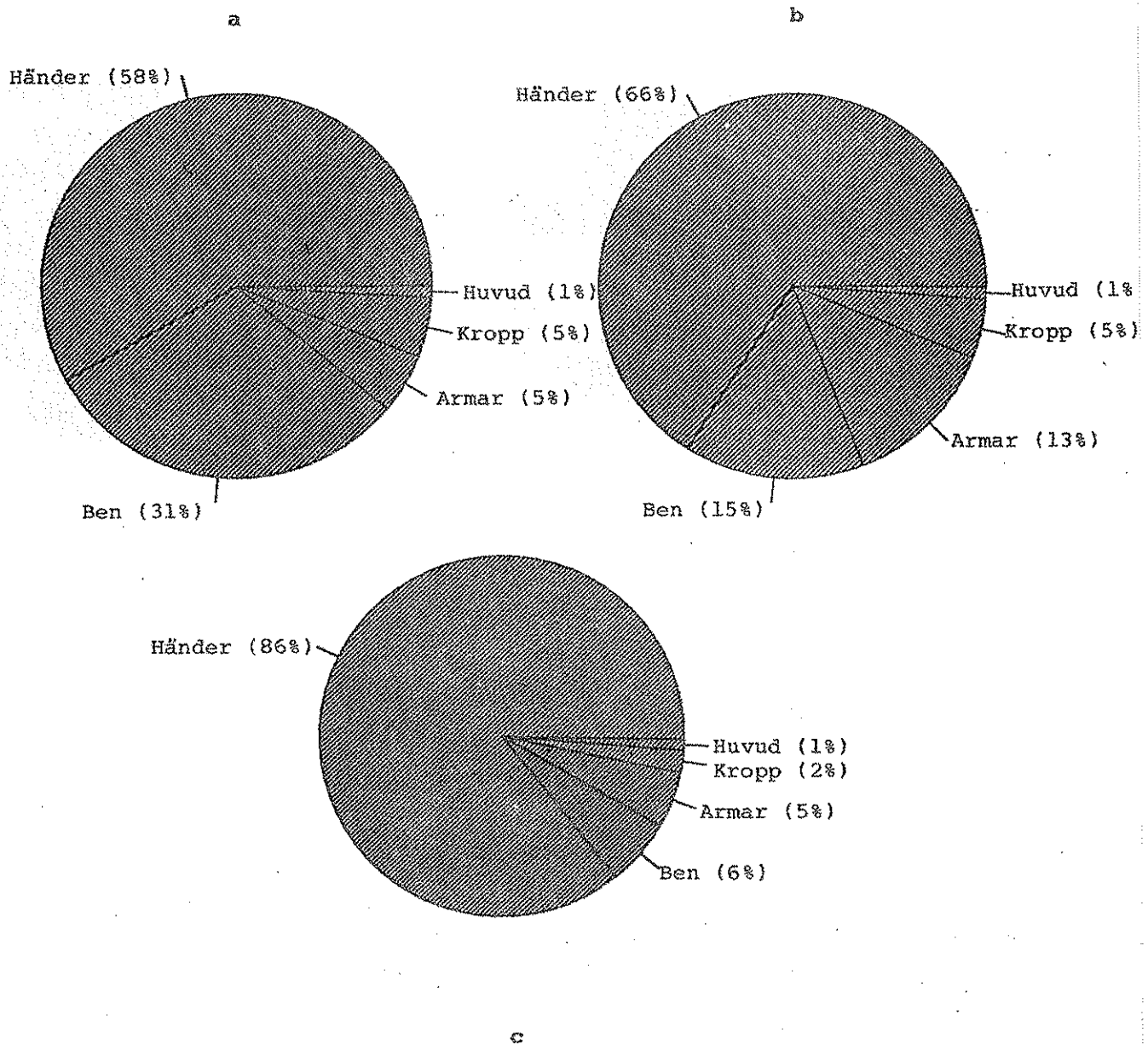
Exposition - kontamination

Expositionen genom inandning under själva sprutningen har visat sig vara betydligt lägre än den dermala kontaminationen (Wolfe et al, 1967; Chester och Woollen, 1981; Dubelman et al, 1983; Lavy et al, 1982). Aktiviteterna blandning av sprutvätska och fyllning av sprutor resulterar i kontamination av företrädesvis händerna (B.A.A., 1983). Den traktorburna sprutan måste på en liten behållare fyllas flera gånger vilket återspeglas i den högre nivån av hudexposition jämfört med bogserade och CDA- (Controlled Droplet Application) sprutor. Under bekämpningen hölls traktorns bakruta öppen för att möjliggöra åtkomst av sprutans reglage. Ryggsprutorna fylldes från en 200 liters behållare med i förväg färdigblandad sprutvätska. Härigenom undveks kontakt med det koncentrerade preparatet (figur 5).

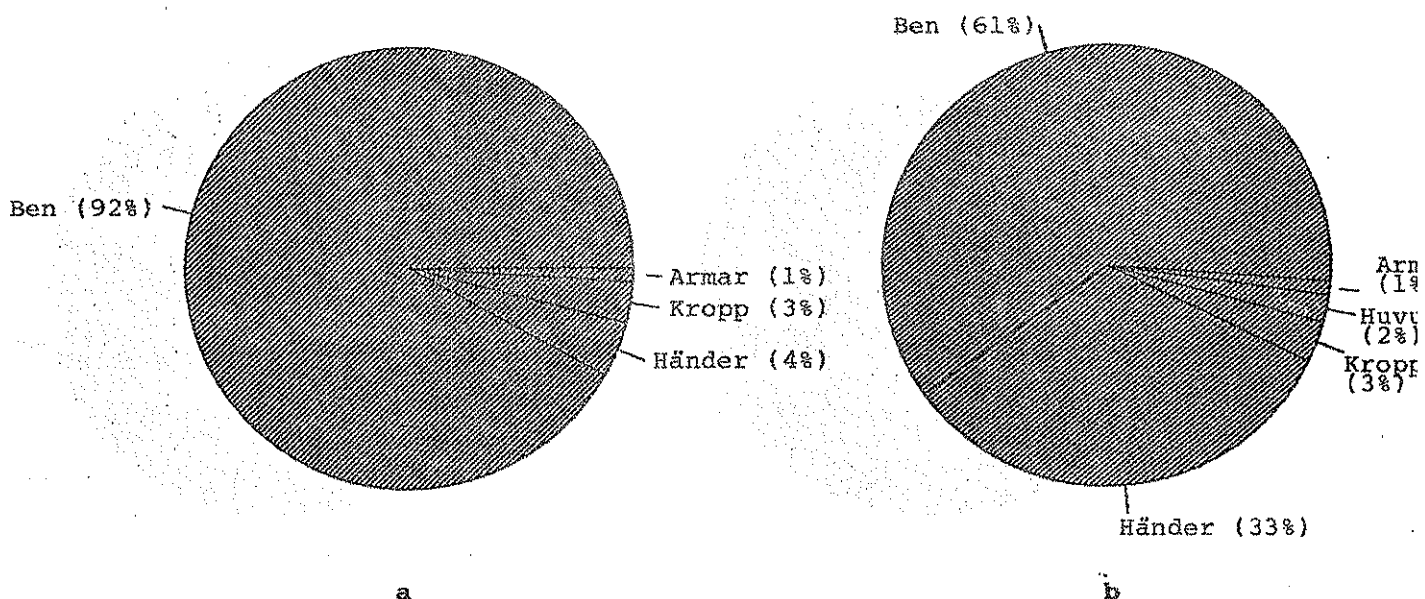
Hudexposition resulterande från momentet besprutning var mindre när burna och bogserade sprutor användes jämfört med ryggsprutor. För burna och bogserade sprutor representerade händerna den del av kroppen som var mest exponerad för sprutvätska under själva besprutningen. Nedre delen av benen var vid användning av ryggsprutor den mest utsatta delen av kroppen. I figur 6 och 7 redovisas den procentuella kontaminationen av de olika kroppsdelarna uppmätt efter utförd bekämpning (B.A.A., 1983).



Figur 5. Total potentiell hudexposition under momenten tillblandning och fyllning av sprutvätska i spruttanken för fem olika sprututrustningar (B.A.A., 1983).



Figur 6 Procentuell fördelning av den totala hudkontaminationen vid bekämpning med (a) bogserad spruta, (b) buren spruta, (c) buren CDA-spruta (B.A.A., 1983).



Figur 7 Procentuell fördelning av den totala hudkontaminationen av de olika kroppsdelarna vid bekämpning med (a) ryggspruta, bom med fyra munstycken, (b) ryggspruta med ett munstycke (B.A.A., 1983).

Hudexpositionen som uppstår under blandning och fyllning av preparat är givetvis beroende av preparatbehållarnas storlek och form, vilket är avgörande för hanterlighet, lättömdhet och uppkomst av spill och stänk. Sprutans utformning med tanke på fyllnadsarbete och tömning samt inarbetade rutiner vid dessa arbeten har också stor betydelse för den totala kontaminationen.

I ett försök med 10 sprutförare i Michigan, Wisconsin och Minnesota undersöktes expositionen (hud och inandning) av nitrofen (2,4-dichlorophenyl p-nitrophenylether) under tillblandning och sprutning av köksväxter. De parametrar som studerades var formulering (EC, emulsifiable concentrate resp. WP, wettable powder), hantering (öppet resp. slutet system), kontamination av olika kroppsdelar, och skyddskläder (bästa möjliga skydd resp. minimalt skydd). Hantering av WP-formuleringar gav i försöket den högsta potentiella hud- och inandningsexpositionen, vilket i stor omfattning orsakades av blandningsmomentet. Nitrofenavsättningar på händerna, det mest utsatta stället för hudexpositionen, kunde reduceras med i genomsnitt en faktor 220 om gummihandskar

användes. Den potentiella dagliga exponeringen reducerades med mer än hälften när EC-formulering användes istället för WP-formulering, även då skyddskläder inte bars.

Med slutna system där EC-formuleringen pumpas upp i spruttanken minskade den totala expositionen med ungefär 78 % jämfört med manuell tillblandning. En minskning med 90 % uppmättes när EC-formulering pumpades jämfört med användning av WP. Dessutom gjorde Putnam et al (1983) erfarenheten att den dagliga expositionen kan minskas med 300 µg när skyddskläder och luftfilter används i kombination med hantering av EC-formuleringar. Dagligt arbete bestod av fyra timmar körning plus en timme för blandning och fyllning av sprutan.

Av tabell 6 framgår hur mycket av sprutvätskan som avsatts på utsidan resp. insidan av skyddskläderna. Exponeringen i samband med blandning och fyllning av WP- och EC-formuleringar hanterade i öppna system var högre än när EC-formulering hanterades slutet. Exponeringen var större från WP än EC i öppet eller slutet system, och mindre exponering på insidan av skyddskläderna än på utsidan.

Tabell 6 Jämförelse av exponering vid momenten blandning och fyllning, och sprutning (Putnam et al, 1983)

Metod	Undersökt ställe på skydds-		ng per cm ²				
	kläderna	Operation	handflata,	ben,	arm,	bröst,	huvud
EC-slutet	insida	*b + *f	31,4	5,6	4,7	5,2	7,6
		*s	34,0	19,9	17,2	64,4	4,5
	utsida	b + f	37,3	0,6	8,2	87,8	196,1
		s	347,3	4,5	7,6	6,9	4,6
EC-öppet	insida	b + f	1,6	4,0	5,8	2,2	2,8
		s	3,6	11,4	34,7	6,0	1,4
	utsida	b + f	8466	4,7	77,6	4,4	6701
		s	15,0	-	1,7	6,4	7,0
WP-öppet	insida	b + f	60,5	18,4	137,9	91,9	40,8
		s	34,0	19,9	53,1	19,2	7,0
	utsida	b + f	33100	18180	980,6	449,4	847,8
		s	9806	686,4	249,2	44,9	67,4

*b=blandning, f=fyllning, s=spridning

Förarnas exponering genom inandning av kemikalier vid användning av ULVAMAST och konventionella hydrauliska sprutor visade sig vara minimal (<0,07 mg per timme). Minsta uppmätbara mängd varierade med provtagningstiden och analysmetoden men när exponeringsnivån vid inandning uttrycktes som koncentration i luft var värdena lägre än de tröskelvärden som Anon (1980) och Lloyd & Bell (1982) publicerade för en rad olika pesticider. Mycket högre exponeringsnivåer uppmättes på kroppen (tabell 7). En relativt hög nivå uppmättes vid felaktigt handhavande av ULVAMAST (sprutning i medvind) försök nr 2, vilket fick sprutdimma att driva in i traktorhytten via en öppen bakruta. I försök nr 14 hamnade 90 % av den totalt uppmätta hudkontaminationen på sprutförarens händer som en följd av rensning av stopp i munstycke. Den maximala expositionsnivån vid sprutning med ULVAMAST och hydrauliskt buren spruta var därför i samma storleksordning och översteg aldrig 11 mg per timme genom kroppskontakt. Inget klart samband mellan exponeringsnivå och vindhastighet kunde på-

visas, men de höga värden som uppmättes i lätt vind (17,6 km per timme - försök nr 9) kan ha orsakats av ökad avdrift delvis som ett resultat av dropparnas evaporation vid den rådande höga temperaturen (24°C) och starka solljuset (Lloyd & Bell, 1982).

Tabell 7 Exponering av traktorförare för vindavdriven sprutvätska på korta avstånd (Lloyd and Bell, 1982)

Försök nr	Spruta	Sprutvätska	Vind km/h	Hytt Venti-lation	Förarexponering i mg kemikalier/tim inandning	genom kontakt*
8	H	0,06 % triadimefon	3,7	sida	<0,012	1,3
2	U	1 % färgämne i olja	5,4	bak	0,005	74**
7	U	1 % triadimefon	5,9	sida	<0,003	0,2
10	U	5,8 % gamma-HCH	6,6	sida	<0,003	0,1
9	U	1 % färgämne i vatten	7,6	sida	<0,07	11
9	H	1 % färgämne i vatten	7,6	sida	<0,07	6
11	H	1 % gamma-HCH	7,6	sida	0,002	0,4
5	U	1 % triadimefon	8,0	sida	<0,004	3,6
4	H	0,6 % triadimefon	8,0	sida	<0,012	0,9
6	H	0,06 % triadimefon	8,0	sida	<0,06	1,0
4A	H	0,06 % triadimefon	9,7	sida	<0,003	1,2
14	U	1 % triadimefon	12,1	sida	0,005	86***
3	U	1 % triadimefon	12,9	sida	0,004	0,6
1	U	1 % färgämne i olja	14,0	sida	<0,035	<0,4
13	U	1 % benomyl	16,2	bak	0,025	4,2
12	U	1 % benomyl	21,6	sida	0,007	10,4

* beräknat för hela kroppsarean (2 cm²)

** felaktigt förfarande (sprutning i medvind)

*** rensning av munstycke-kontaminering av händer

Under antagande att förarens inandningskapacitet är 1 m³/h, kan exposition genom inandning avläsas direkt som koncentrationer i luft (mg/m³).

Bestämning av exposition via hud och inandning samt den totala expositionen som funktion av toxisk dos utfördes för 31 olika arbetsaktiviteter med 10 olika pesticider (Wolfe et al, 1967). Exponeringsnivån varierade kraftigt för en enskild aktivitet med en speciell pesticid, beroende på ändrade vindförhållanden och de enskilda individernas arbetsteknik. Även för en enskild pesticid varierade exponeringen beroende på vilket moment i sprutprocessen som utfördes. Generellt var momenten blandning-fyllning de mest riskfyllda. Exponeringen var inte enbart beroende av arbetstidens längd utan också av om det var pulver, aerosoler eller droppar som applicerades. Aerosoler och pulver ökade inandningsex-

positionen avsevärt jämfört med vanlig sprutning. Vidare fastslogs att den dermala expositionen var betydligt större än inandningsexpositionen för alla undersökta pesticider och arbetsaktiviteter (bilaga 1).

Resultaten indikerar att jordbruksarbetare i allmänhet är utsatta för relativt små fraktioner av den toxiska dosen varje dag. Men samtidigt påpekas att marginalerna för nonchalans av föreskrifter vid användning av preparat med hög toxisk verkan är små. Mätning av hud och inandningsexpositionen mättes i fältförsök vid applikation av herbiciden diallate före uppkomst i sockerbetsfält (Dubelman et al, 1982). Varje operation tankfyllning, sprutning och sprutning i kombination med jordbearbetningsåtgärder mättes separat för att möjliggöra uppskattning av dess relativa bidrag till den totala expositionen. Inandningsexpositionen mättes genom att luftburen herbicid i sprutförarens andningszon uppsamlades på bitar av skumplast. Avsättningen på huden samlades på tunna objekt som fastsattes på sprutförarens kläder, för mätning av exposition av händerna användes bomullshandskar. Avsättningen på händerna vid momentet tankfyllnad var 200 ggr större än avsättningen på någon annan kroppsdel. Användning av slutet system för pumpning av koncentrat till spruttanken i kombination med skyddshandskar minskade totala kontaminationen av diallate i storleksordningen två gånger.

Exponeringsmätningar utförda i Norge av Nordby et al (1986) belyser arbetsmiljön vid ogräsbekämpning i stråsäd (tabell 8). Minimitiden för mätning var 30 min. och analysen gjordes direkt på ogräsmedlet. Både exponering och avdrift blev i försöken mycket låga i förhållande till mängd avsatt ogräsmedel.

Tabell 8. Ogräsbekämpning i stråsäd 1985, sprutobjekt pinnar (Nordby et al, 1986)

Mätning	Sprutobjektets placering	Ogräsmedel ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)
Exponerings- mätningar	Förare - krage	0,7
	Traktor - bak	0,9
	Traktor - vänster	1,2
	Traktor - höger	1,1
Avsättning efter första sprutdraget		17,7
Avdrift	12,5 m i vindriktning	1,4
"	25,0 m " "	1,1
"	37,5 m " "	1,0
"	50,0 m " "	0,7

För att uppnå mätbara exponeringar användes långa försökstider med flera upprepningar. Vid ogräsbekämpning i stråsäd var spruttiden 30 min. och vid bekämpning i växthus och fruktodling 5-15 min. med flera upprepningar. Tabell 9 visar arbetsmiljön vid bekämpning av ogräs i stråsäd, lövsly i barrskog, svamp och insekter i fruktodling och svamp i växthus. Exponeringstiden är för alla leden lika och som analysmedel användes grundämnet Rubidium.

Tabell 9 Relativtal för exponeringens storlek vid samma exponeringstid för olika försöksled. Sprutobjekt pinnar (Nordby et al, 1986)

Objekt	Sprututrustning	Relativtal
Stråsäd	Vanlig lantbruksspruta-ogräsbekämpning	1
Lövsly i skog	Ryggfläktspruta	14
- " -	Fläktspruta på stamlunnare	3
Fruktodling	Ryggfläktspruta	7-34
Äpple	Fläktspruta, hydrauliskt buren	10-40
"	Fläktspruta, bogserad	12-150
"	Sprutlans	25-30
Växthus	Ryggfläktspruta - bakom	4-5
Gurka	" - framför	>70
	Ryggspruta - framför	10
	Högtrycksanläggning	< 1

SKYDDSÅTGÄRDER VID SPRIDNING AV BEKÄMPNINGSMEDEL

Med skyddsåtgärder avses här beaktande av gällande rekommendationer, användande av lämplig skyddsutrustning och upprätthållande av en god kunskapsnivå på området.

De rekommendationer som finns idag grundar sig på utfört forskningsarbete och praktiska erfarenheter. Rekommendationerna har tillkommit som en följd av den ängslan och oro som lantbrukare och konsumenter känner för kemiska preparat men också för att maximera bekämpningseffekten. Kravet på effektivitet är tyvärr inte alltid liktydigt med en bra arbetsmiljö och en naturvänlig preparatanvändning.

Befintliga rekommendationer

Åtgärder som bör beaktas för att minska exponeringen;

Droppstorlek ~ arbetsstryck

En minskad droppstorlek medför ökade risker för vindavdrift och evaporation och således en försämrad arbetsmiljö. Droppar mindre än 100 µm utgör vanligtvis 5-10 % av sprutduschens volym från spaltspridare. För att minska volymsprocenten smådroppar är det fördelaktigt med ett lågt arbetsstryck. Nordby et al (1986) föreslår 2 bar för ogräsbekämpning i stråsäd. Senare tiders strävan att använda mindre droppar utgör ett faromoment om inte åtgärder vidtas för att begränsa en ökad potentiell vindavdrift. Tryckets inverkan på vindavdriften framgår av figur 8a.

Vätskemängd

Minskade vätskemängder aktualiserades först med CDA-, ULV-, VLV- och LV-tekniken. Erfarenheter från fältförsök och praktisk användning har dock visat att den "generella" vätskemängden per hektar med dagens teknik inte bör underskrida 100 liter. Nackdelar med små vätskemängder är ökade krav på inställning och skötsel av sprututrustning för att inte fördelning och avsättning av sprutvätska skall försämras. Ökad koncentration av sprutvätska medför dessutom en ökad kontaminationsrisk.

Bomhöjd

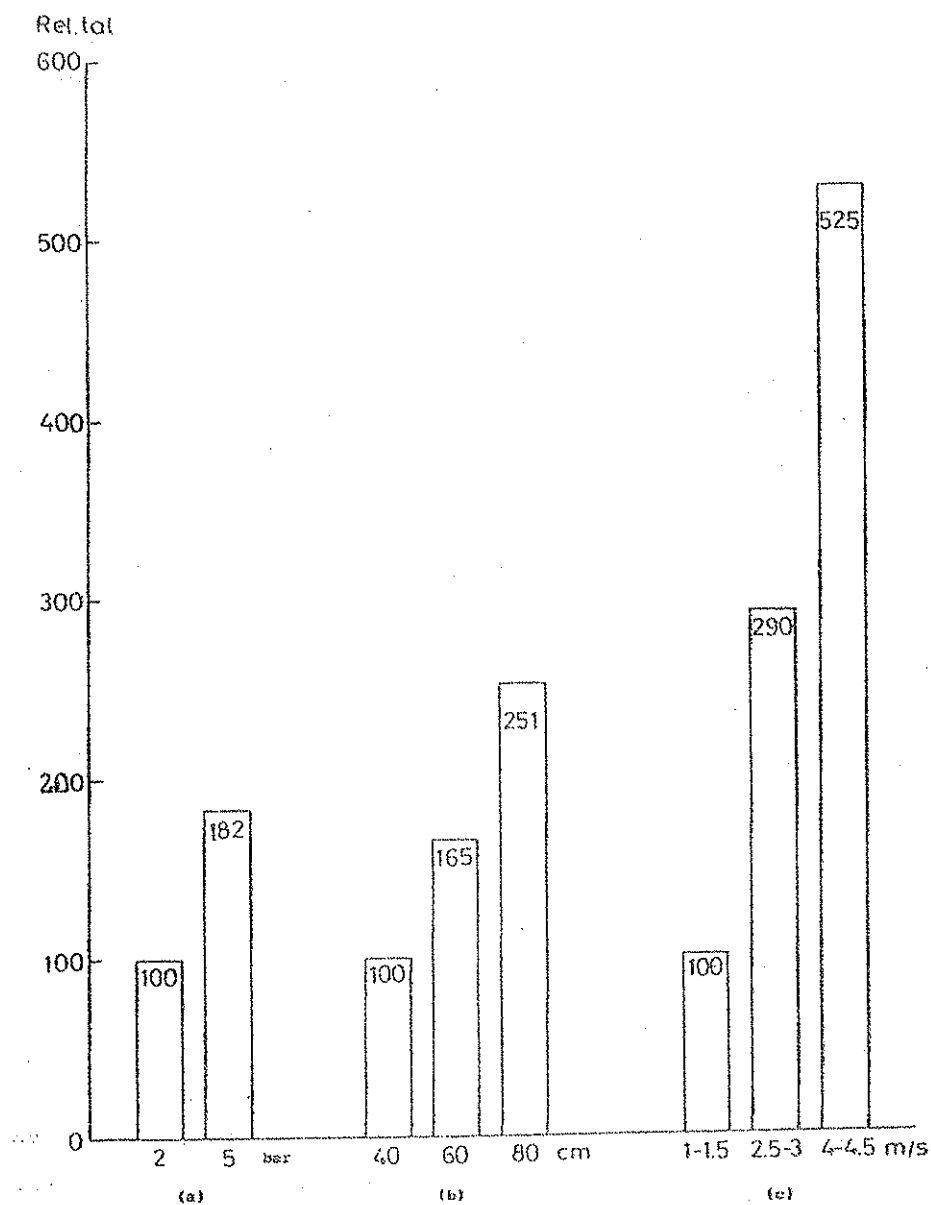
Bomhöjdens betydelse för jämn spridning är odiskutabelt. Men även höjdens inverkan på avdrift och avsättning bör uppmärksammas. Nordby och Skuterud (1975) visar att när bomhöjden ökades från 40 till 80 cm, ökade avdriften från 1 % till 3,2 %, koncentrationen sprutvätska omkring traktörförarens huvud ökade ca fem gånger. Bomhöjdens inverkan framgår av fig. 8b.

Väder och vind

Temperaturens inverkan på bekämpningsresultat, upptagningshastighet, brännskador osv har länge varit föremål för diskussion, . Generellt kan man säga att man inte skall spruta när det är för varmt eller för kallt. En hög temperatur inverkar dock negativt på dropparnas livslängd. En ökning av temperaturen från 13,6°C till 23,6°C har i försök med fläktspruta i fruktodlingar halverat mängden avsatt sprutvätska (Nordby et al, 1986).

För att begränsa avdriftens storlek rekommenderar man i Sverige att bekämpning inte bör utföras i vindstyrkor över 4 meter per sekund. Bestämmelser om säkerhetsavstånd förekommer inte idag för sprutning intill känsliga grödor men har varit föremål för diskussion. Faktorerna som bestämmer avdriftens storlek och negativa verkan är många och av komplicerad natur. Att sätta en 100 %-ig gräns ter sig därför mycket svårt. För närvarande lämnas beslutet till sprutoperatören, en lösning som kan fungera under förutsättning att kunskapsnivån hålls på en hög nivå och att de rekommendationer som finns verkligen tillämpas.

Vindriktningen bör vara vinkelrät mot kördragen för att undvika att få in sprutvätska över traktor och förare. Av figur 8c framgår att möjligheterna att begränsa avdriften genom att endast spruta under lugna förhållanden är mycket stor.



Figur 8. Vindavdriftens relativa förändring i procent då (a) arbetstryck, (b) bomhöjd eller (c) vindstyrka varierar (Arvidsson, 1985).

Skyddsutrustning

Val av skyddskläder förutsätter kunskap om en rad olika faktorer såsom:

- preparatets toxiska verkan på kort och lång sikt,

- kostnad och komfort,
- klädernas skyddande effekt.

Åkerblom et al (1986) bedriver för närvarande forskning som skall ligga till grund för utformning och val av skyddsmaterial. Men redan idag finns värdefull information att tillgå.

Genomträngning av skyddsmaterial av kemikalier kan ske på tre sätt; permeation, penetration och degradation.

Permeation av ett material sker på molekylär nivå och är beroende av temperatur (snabbare vid höga temperaturer) och materialets kemiska sammansättning samt alla ingående substanser i sprutvätskan. Penetration kan ske genom otätheter i plagget, t ex blixtlås.

Degradation innebär att skyddsmaterialet bryts ned eller löses upp.

SPRIDNINGSUTRUSTNINGENS OCH SPRIDNINGSMETODENS INVERKAN PÅ EXPOSITION OCH VINDAVDRIFT

Projektets syfte

Syftet med projektet var att i både fält och laboratorieförsök fastställa huruvida olika spridningsmetoder och utrustningar ger upphov till skillnader i exposition och avdrift, samt att fastställa storleken på dessa skillnader. Målet var att försöka få information om gällande rekommendationers giltighet och att vid eventuellt behov förbättra dessa eller ta fram nya.

Projektets uppläggning

Projektet kom i huvudsak att genomföras som jämförande studier av de olika spridningsmetoderna och utrustningarna i fält. För att komplettera den härvid framkomna informationen skedde en uppföljning i laboratoriet.

Avdriftsstudier med artificiella sprutobjekt utfördes i vindtunnel. Droppstorleksmätningar utfördes med en laserbaserad droppstorleksmätare.

Fältförsöken inleddes under våren 1986 med förberedelser. Under sommaren utfördes vindavdrifts- och expositionsmätningar i fält. Slutligen följdes det hela upp med laboratorieförsök under hösten. Litteraturstudier utfördes i anslutning till projektets inledande och avslutande skeden.

Val av spridningsutrustningar och metoder

I undersökningen ingick 10 olika försöksled. Utrustning och metoder valdes så att ny och relativt oprövad teknik jämfördes med dagens mest använda.

De utrustningsalternativ som ansågs aktuella att undersöka var:

- Konventionella spaltspridare. Dessa spridare är vanligt förekommande och fick utifrån tidigare erfarenheter och undersökningsresultat tjäna som referensmaterial.
- Rotationsspridare Micromax med utkastning av droppar i horisontell riktning. Liten vätskemängd per hektar används.
- Utrustning för elektrostatisk laddning av dropparna. System ES användes.
- Hardi fläktspruta (minivariant) för bekämpning i bär- och fruktodlingar.
- Lufttillsatsspridare för användning av vätskemängder mindre än 100 liter per hektar.
- Tillsatsmedel med och utan elektrostatiskt laddade droppar.

Samtliga försök utfördes utan bekämpningsmedel och som analysämne användes ett fluorescerande medel. I de försöksled där olja användes testades

de i emulsioner med några procents inblandning. Appliceringen av sprutvätska utfördes med munstycken enligt tabell 10.

Spridare Air Jet är Spraying Systems (SS) Air Atomizing Nozzle för sprutning med lufttillsats. Munstycket är inte marknadsfört i Sverige men har vid Sveriges lantbruksuniversitet testats i enstaka försök under två växtodlingssäsonger för ogräsbekämpning i stråsäd med goda resultat.

Tabell 10. Teknisk beskrivning av de sprutmunstycken som användes

Munstycke	Prestanda och användningsområde
TeeJet 8001	Spaltspridare med 80° toppvinkel vid arbetstrycket 3 bar
TeeJet 11001	Spaltspridare med 110° toppvinkel vid arbetstrycket 3 bar
TeeJet 11004	Spaltspridare med 110° toppvinkel vid arbetstrycket 3 bar
TeeJet 11005VS	Spaltspridare av rostfritt stål med 110° toppvinkel. Minst 2 bars tryck för ogräsbekämpning före uppkomst. Minst 3 bar efter ogräsens uppkomst. VS står för VisiFlo
SS AirJet 1	Spridare med lufttillsats. Munstycke 21255-3-026.
Hardi 1999-10 Blå	Spridare som ger ihålig konisk dusch. Svirvel blå 10.

Tillsatsmedlet som användes var Karlshams rapsolja FLME 430. Med inblandning av 2,5 % ökar den kinematiska viskositeten från $1,0 \cdot 10^6$ m²/s för rent vatten till $1,7 \cdot 10^6$ m²/s. Ytspänningen med denna oljeinblandning är ca 33,5 mN/m (Allroth, 1986).

För elektrostatisk laddning av dropparna användes en engelsk utrustning 'System ES' (Electrostatic Spraying). System ES är en metod för induktiv laddning av droppar från konventionella spridare. Spänningen är 4 kV vid maximal strömstyrka av 2 mA.

FÄLTFÖRSÖK

Försöksplan

Försöksplanen utarbetades för att ge information om skillnader i exposition- och avdriftsrisker för olika utrustningar och metoder. Försöksplanen framgår av tabell 11.

Tabell 11. Försöksplan (A) för undersökning av skillnader i exposition och avdriftsrisker vid användning av olika utrustningar och metoder. Försöksplanen har kompletterats med värden på vindstyrka (m/s), temp. (°C) och relativ luftfuktighet (%) som uppmättes vid försökledens genomförande

Försöks- led	Vätskemängd (l/ha)	Tryck/varvtal (bar)/(rpm)	Metod	Spridare/ utrustning	Vindstyrka (m/s)	Temp. (°C)	R.F. (%)
a	91	3,0		8001	1,0	19	55
					2,5	21	45
					4,0	23	50
b	91	3,0	ES	8001	4,0	23	50
c	91	3,0	ES+olja	8001	4,0	23	50
d	91	3,0	olja	8001	1,0	19	55
					2,5	20	65
					4,0	23	50
e	58	2,5		11001	1,0	-	-
					2,5	-	-
					4,0	24	35
f	230	2,5		11004	1,0	20	40
					2,5	-	-
					4,0	-	-
g	300	2,0		11005VS	1,0	21	37
					2,5	19	60
					4,0	24	35
h	85	3,0/0,8*		AirJet	1,0	20	40
i	53	3,0/2000		Micromax	1,0	22	40
					4,0	20	60
j	200	11,8		Hardi mini-variant	1,0	15	65
					2,5	22	50
					4,0	20	55

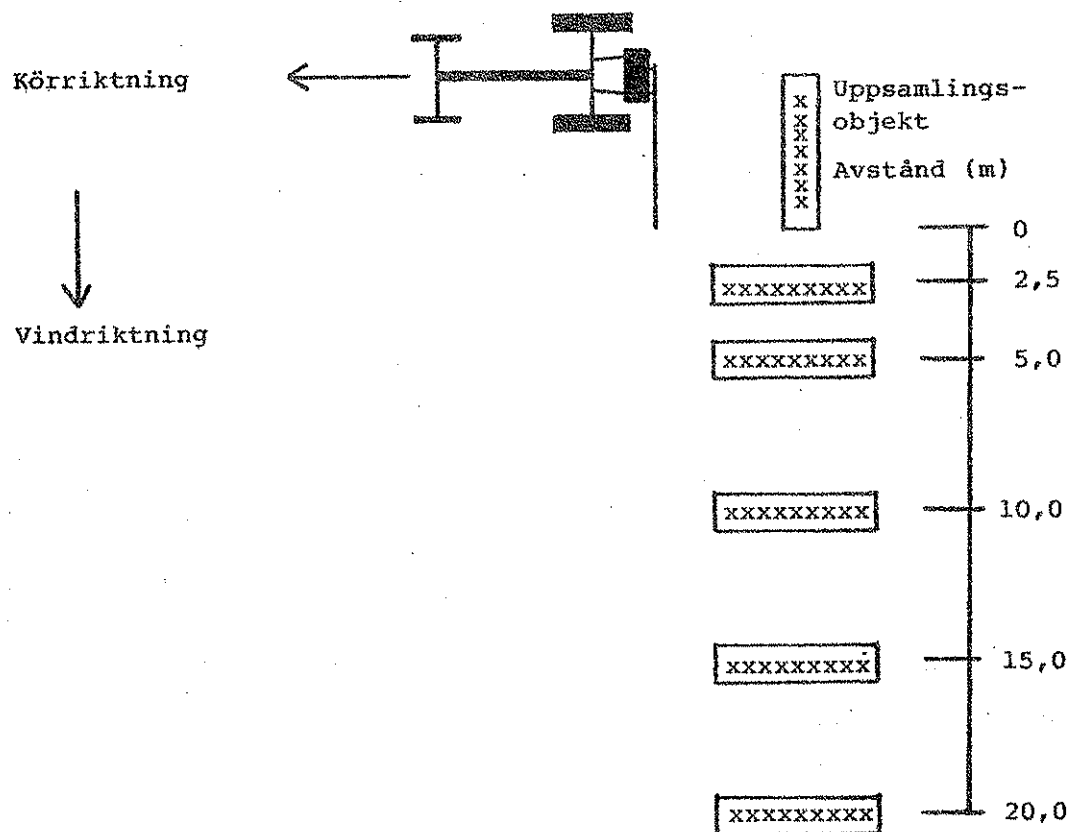
* Vätsketryck 3,0 bar och lufttryck 0,8 bar

Försöksfält

Som försöksfält användes ett flackt fält som under försöksperioden låg i träda. Vegetationsförekomsten var mycket sparsam och utgjordes av lågväxande ogräs.

Fältproven

Försöken utfördes alltid med kördragen vinkelrätt mot vindriktningen. För att erhålla mätbara avsättningar kördes 20 kördrag i samma spår. Uppsamlingsobjekten utgjordes av filtrerpapper med diameter 11 cm, vilka placerades horisontellt på marken och parallellt med kördraget. 30 filtrerpapper placerades på respektive avstånd (0, 2,5, 5,0 10,0 15,0 och 20,0 meter) från kördraget (figur 9).



Figur 9. Mätobjektens placering i förhållande till vind och körriktning.

Temperatur, relativ luftfuktighet och vindhastighet registrerades 50 cm över marken när försöken genomfördes. Dessutom togs prover på sprutvätskan för analys av koncentrationen fluorescerande medel. Filterspappren plockades in omedelbart efter det att avsatt sprutvätska torkat, för att hindra nedbrytning av färgämnet av ultraviolett strålning.

Injustering av utrustning

För applicering av avsedda vätskemängder kontrollerades flödet vid givna tryck och erforderlig körhastighet beräknades och kontrollmättes. Bomhöjden var i samtliga försöksled den för utrustningen rekommenderade. Spaltspridare med toppvinkel 80°, bomhöjd 55 cm, 110° toppvinkel bomhöjd 55 cm. Micromax, 55 cm bomhöjd och SS AirJet 1 50 cm.

Analysutrustning

Avsättningen av sprutvätska uppsamlades på artificiella objekt. För kvantifiering av avsättningen tillsattes sprutvätskan ett fluorescerande färgämne. Efter besprutningen insamlades sprutobjekten och förvarades mörkt tills analys kunde ske. För att extrahera det fluorescerande färgämnet sköljdes filterspappren med en härför avsedd volym isopropanol. I de erhållna lösningarna uppmättes koncentrationen av fluorescerande medel. För mätningarna användes en bärbar fluorimeter. Med känt förhållande mellan koncentration, sprutobjektets yta, vätskemängd per hektar och volym lösningsmedel beräknades den procentuella avsättningen och avsättningen i µg/objekt. Instrumentets känslighet anges vara 1-2 ppb fluorescerande färgämne. Vid mätningarna tillsattes 0,08-0,13 g fluorescerande medel per liter sprutvätska. Avsättningen beräknades med formlerna;

$$\text{Avsättning (\%)} = (I \cdot V \cdot 10) / (D \cdot S)$$

I = Avläst värde på fluorimetern (g/l)

V = Volym (ml) lösningsmedel som använts vid extraktionen

D = Dos fluorescerande färgmedel som använts per hektar (g/ha)

S = Sprutobjektets yta (cm²)

$$\text{Avsättning i } \mu\text{g/sprutobjekt} = \frac{I \cdot V}{1000}$$

Resultat av fältförsök

I bilaga 2 presenteras avsatt mängd vindavdriven sprutvätska som procent av utsprutad mängd vätska per hektar. Under förutsättning att preparatmängden per hektar är densamma i samtliga fall kan man här oberoende av körhastighet och vätskemängd direkt jämföra procenttalen för de olika utrustningarna. Vidare framgår att ökad vindstyrka leder till ökad avdrift. Likaså att en ökad procentuell volymsandel droppar med diameter mindre än 100 μm leder till ökad avdrift.

I försöksled a, b, c och d har konventionell sprutning med munstycke 8001 jämförts med elektrostatisk laddning av droppar, elektrostatisk laddning + 2,5 % oljetillsats och enbart 2,5 % oljetillsats. Det försöksled som här gav minst avdrift vid samtliga vindstyrkor var led d, där oljetillsats användes. Man kunde annars förväntat sig att avdriften skulle varit mindre vid låga vindstyrkor och större vid höga jämfört med försöksled a där olja inte användes, med tanke på att oljetillsats ökar dropparnas livslängd.

Försöksled b (vindstyrka 4,0 m/s) gav den allra största avdriften (av a, b, c, d). Elektrostatisk laddning har under dessa förhållanden inte minskat avdriften.

Försöksled e har resulterat i den kraftigaste avdriften, vilket får förklaras med den stora procentandelen droppar mindre än 100 μm .

Försöksled i, Micromax, har gett en förhållandevis stor avdrift på avstånd upp till 10 meter, vilket delvis får förklaras av den horisontella utkastningen av dropparna med den lodräta hastighetskomponenten 0 m/s.

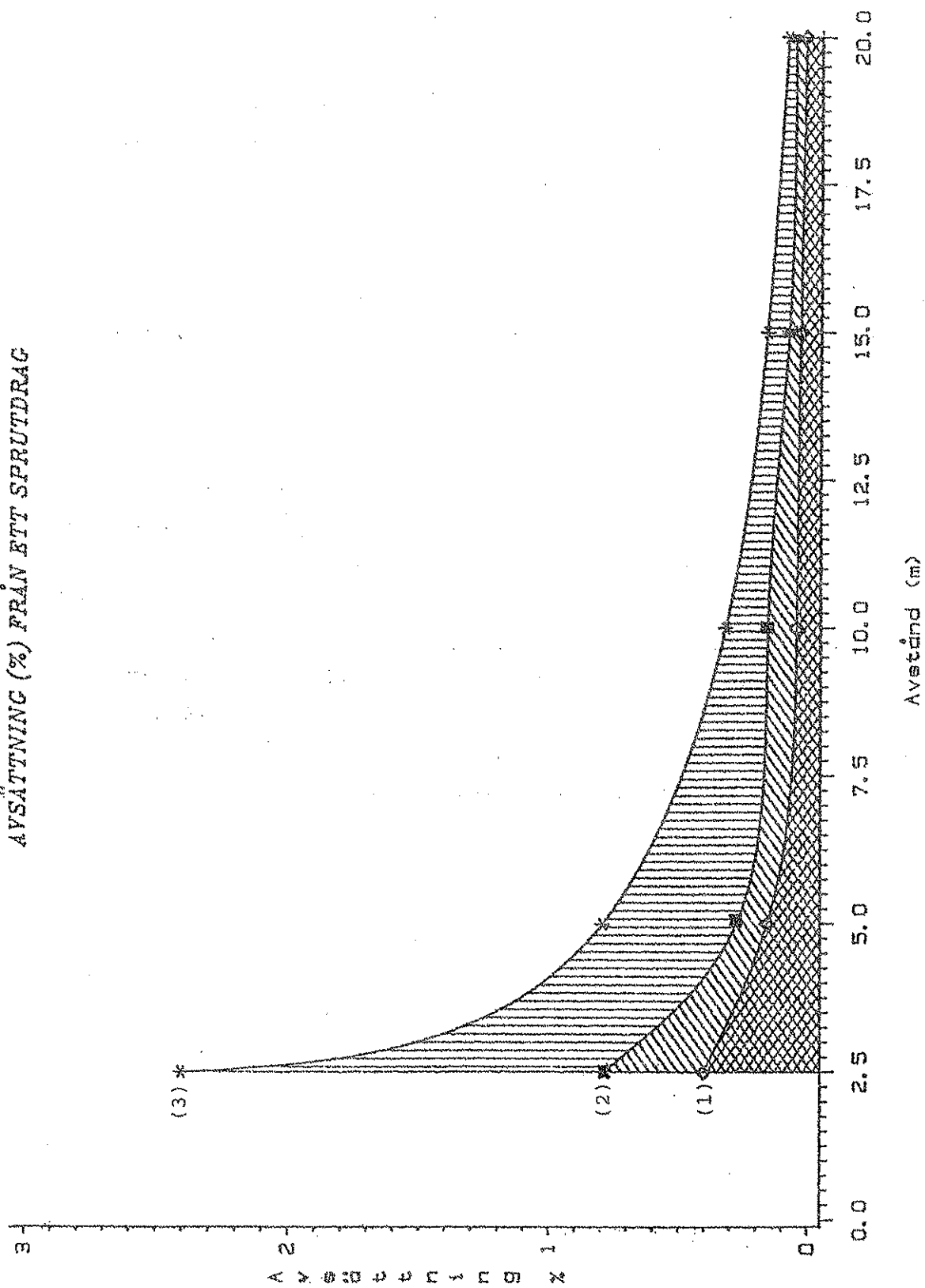
Försöksled j. Vindavdriften ökar mycket markant då vindstyrkan ökar, vilket ev. kan tyda på att luftströmmen från fläkten inte förmår att transportera och avsätta dropparna på avsedd plats.

Figur 10 och 11 visar hur avsättningen av vindavdriven sprutvätska från ett kördrag avtar med ökat avstånd från bommens ytterända. Skillnaderna i avsättning som en följd av olika vindstyrkor är störst närmast bommen för att sedan successivt minska med ökat avstånd.

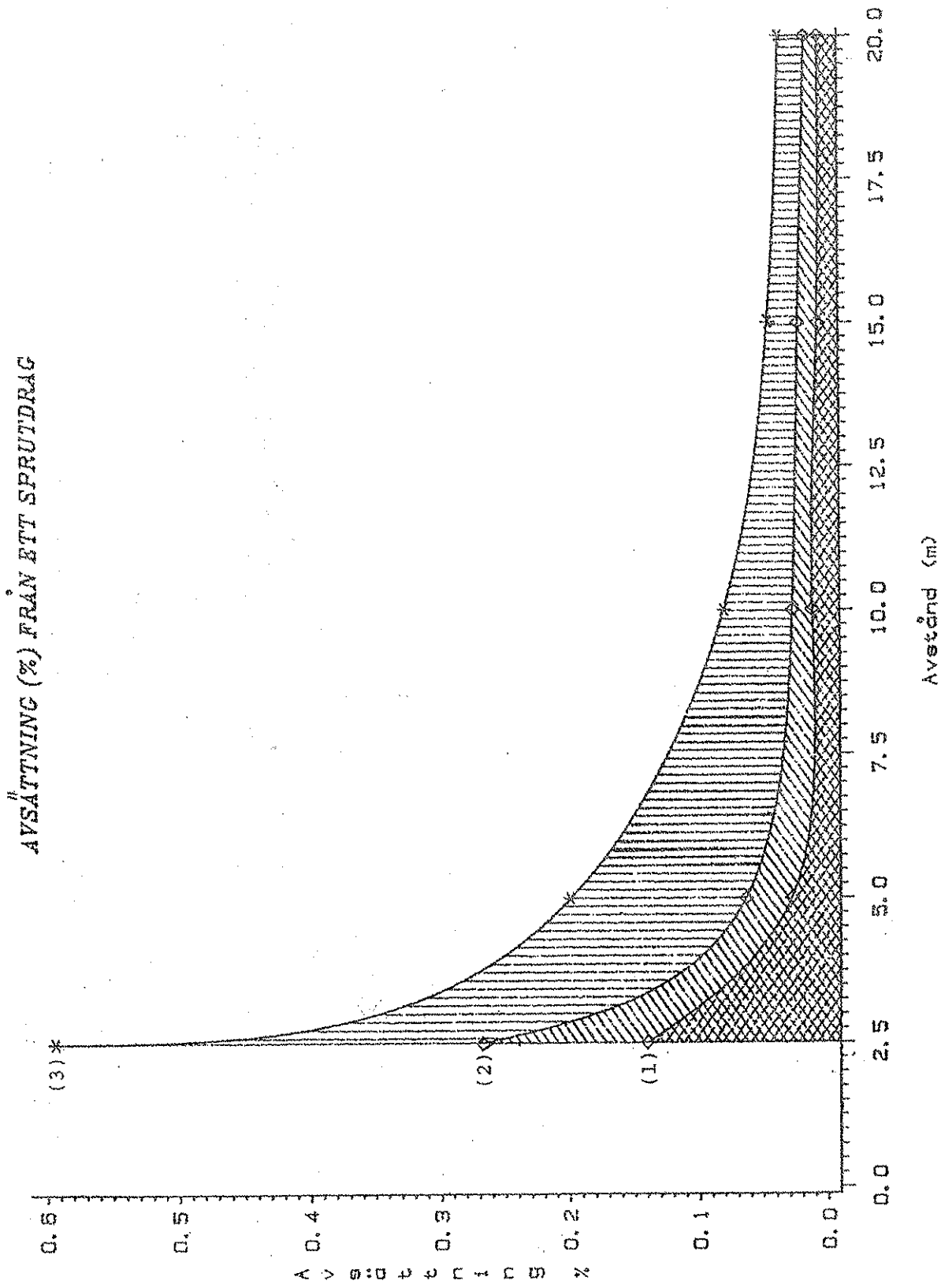
Markanta skillnader i avsättning förekom mellan försöksleden. I figur 12 visas avsättningen för tre spaltspridare. Skillnaderna torde i huvudsak bero på att volymsandelen droppar av sprutvätskan mindre än 100 μm är olika.

Figur 13, 14 och 15 visar avsättningens variation med procentuella volymsandelen droppar mindre än 100 μm och vindhastigheten (m/s), vid avstånden 5, 10 resp 15 meter. I figurerna har data erhållna med Micromax utelämnats. Partikelstorleksmätningarna visar för denna spridare att procentuella volymsandelen droppar mindre än 100 μm är ca 5 %. Trots detta förhållandevis låga värde har Micromax i avsättningsstudierna gett upphov till en relativt stor avdrift. Detta kan bero på att dropparna inte har någon begynnelsehastighet i vertikal riktning. Man får också beakta försöksmaterialets begränsade omfattning.

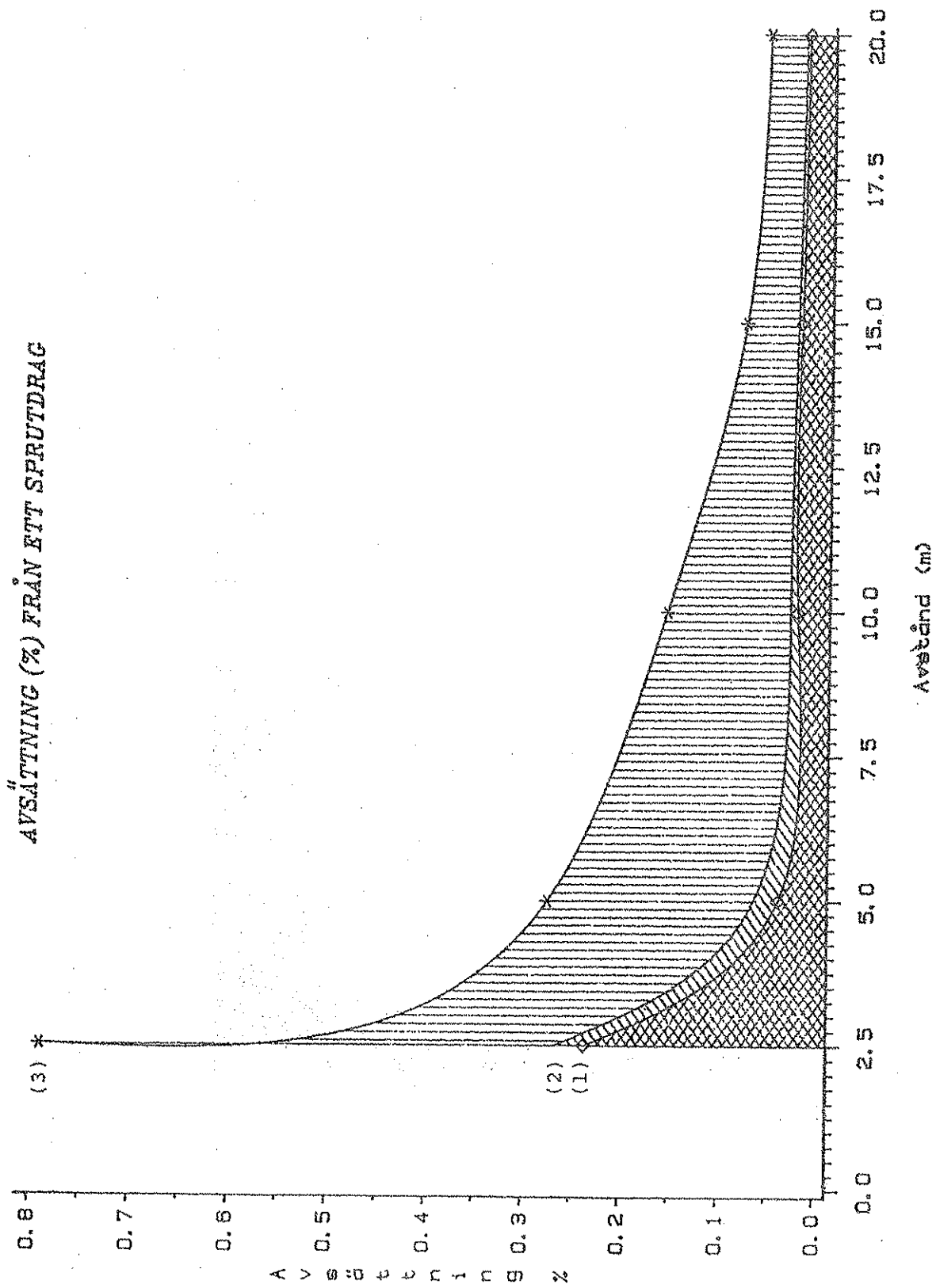
AVSÄTTNING (%) FRÅN ETT SPRUTDRAG



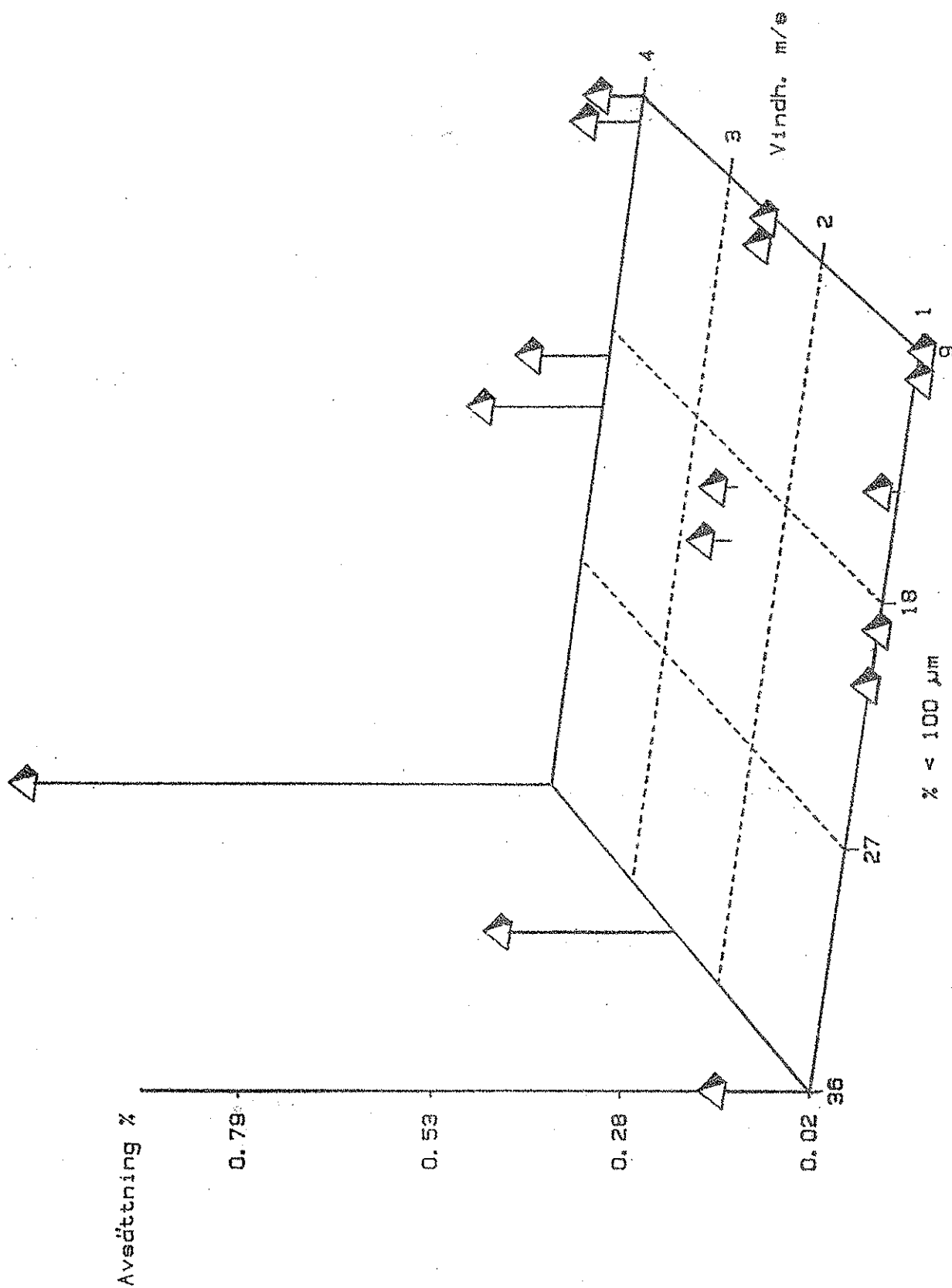
Figur 10. Avsatt sprutvätska (%) som funktion av avståndet från kördraget vid vindhastigheterna (1) 1,0, (2) 2,5 och (3) 4,0 m/s. Munstycke TeeJet 110 01, tryck 2,5 bar.



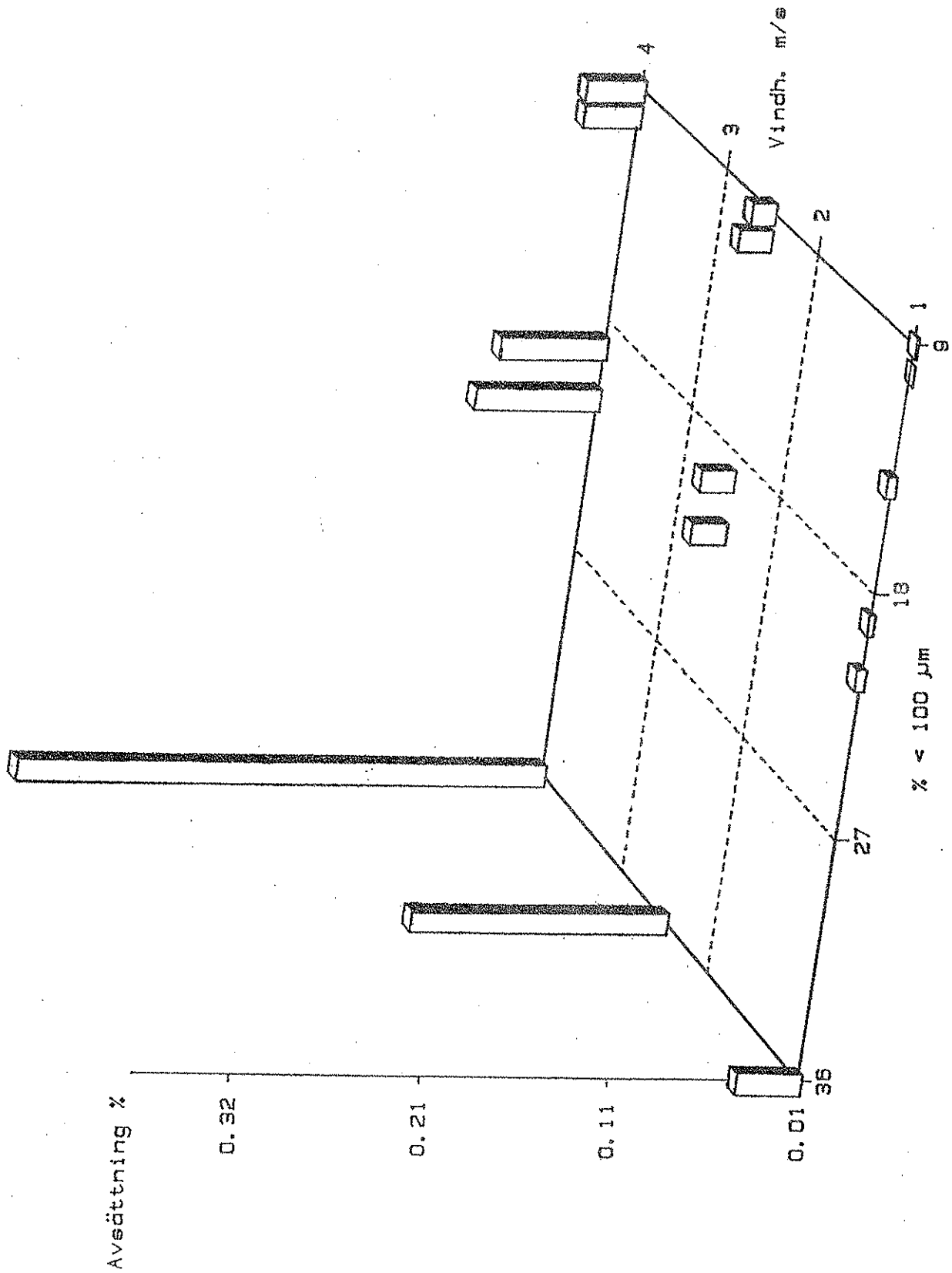
Figur 11. Avsatt sprutväska (%) som funktion av avståndet från kördraget vid vindhastigheterna (1) 1.0, (2) 2.5 och (3) 4.0 m/s. Munstycke TeeJet 8001, tryck 3 bar.



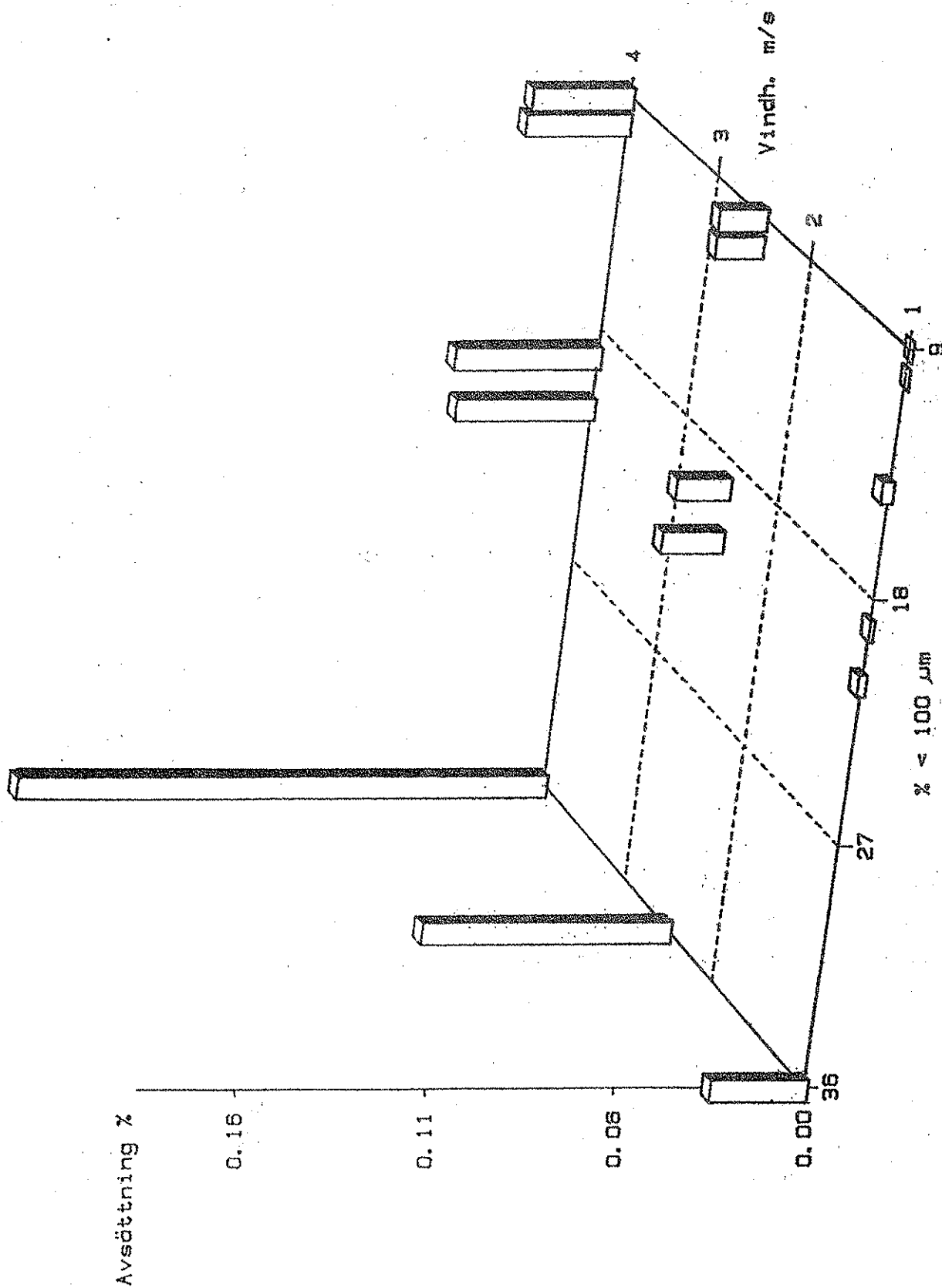
Figur 12. Avsatt sprutvätska (%) som funktion av avståndet från kördraget. (1) Munstycke 11005 VS, tryck 2.0 bar, volymsandel droppar mindre än (v.m.) 100 μm = 9 %, (2) munstycke 8001, tryck 3.0 bar, v.m. 100 μm = 21 %, (3) munstycke 11001, tryck 2.5 bar, v.m. 100 μm = 36 %. Vindhastighet 2.5 m/s.



Figur 13. Avdriftsstudier i fält. Avsättnings variation med procentuella volymsandelen droppar mindre än 100 μm och vindhastigheten. Avstånd från sprutdragets läkant 5 meter.



Figur 14. Avdriftsstudier i fält. Avsättningens variation med procentuella volymsandelen droppar mindre än 100 μm och vindhastigheten. Avstånd från sprutdragets läkant 10 meter.



Figur 15. Avdriftsstudier i fält. Avsättnings variation med procentuella volymsandelen droppar mindre än 100 μm och vindhastigheten. Avstånd från sprutdragets läkant 15 meter.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att skillnader förekommer mellan utrustningarna, men till största delen verkar detta vara beroende av volymsandelen droppar mindre än 100 μm . Skillnaderna minskar med ökat avstånd från kördraget, vid 15-20 meter är skillnaderna mycket små. I praktiken torde ofta den verkliga avsättningen vara mindre än den här uppmätta med tanke på avsaknad av vegetation som fångar upp vindavdriven sprutvätska. Detta borde dock inte ha påverkat det inbördes förhållandet mellan de olika försöksleden.

Bilaga 3 visar ett exempel från analysarbetet av de insamlade filtererpapperen. I detta exempel har 28 filtererpapper lagts ut parallellt med körriktningen på avståndet 2,5 m. Tabellen visar avläst värde på fluorimetern, vilket har använts för att räkna ut avsättningen uttryckt dels som μg /objekt och dels som procent för varje enskilt filtererpapper. Sedan har medelvärde, standardavvikelse och varians beräknats. Medelvärdet på avsättningen i procent är det värde som redovisas i Bilaga 2 under försöksled e, vindstyrkan 4,0 m/s och vid avståndet 2,5 m.

Bilaga 4 visar hur koncentrationen av fluorescerande medel i sprutvätskan bestämdes. I visat exempel har fyra analyser av sprutvätskan utförts och medelvärdet beräknats för att senare användas vid uträkning av avsättningen i procent enligt formlerna på sidan 41/42.

Bilaga 5 visar ett exempel på hur data om de olika försöksleden har samlats. T ex för avståndet 0,0 m har analysvärdena samlats i datafil M5, volym lösningsmedel (isopropanol) som har använts var 12 ml. Objektens area var 95,033 cm^2 och sprutvätskans koncentration uttryckt i utsprutad mängd per hektar har analyserats till 7,479 g/ha.

Regressionsanalys av sambandet mellan avsättning (%) och procentuella volymsandelen droppar mindre än 100 μm vid vindhastigheten 1,0, 2,5 och 4,0 m/s återfinns i bilaga 6. Värde för spridare Micromax har utelämnats.

LABORATORIEFÖRSÖK

Försöksplan

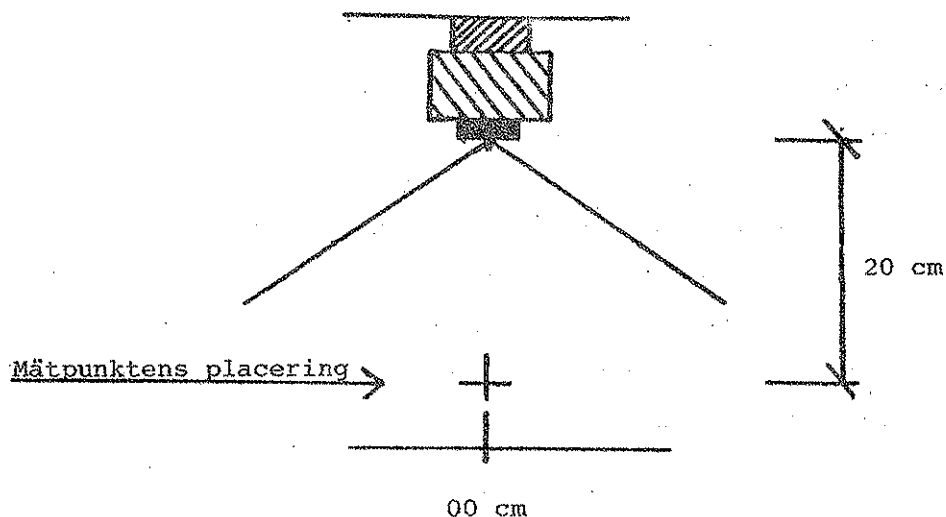
Försöksplanen utarbetades för att förtydliga och förklara de frågor som uppkommit under fältstudien. Härvid ansågs det lämpligt att närmare undersöka vindavdriftens storlek i relation till vindhastigheten vid konstanta förhållanden med avseende på temperatur och relativ luftfuktighet under kontrollerade vindförhållanden. Dessutom ansågs det värdefullt att för vissa av spridarutrustningarna undersöka droppstorleksspektrums utseende dels med tanke på VMD-värdet, dels för volymsandelen droppar mindre än 100 μm , dvs de droppar med störst vindkänslighet. Försöksplanens utseende framgår av tabell 12.

Tabell 12. Försöksplan (B) för undersökning av VMD-värde och procentuell volymsandel droppar mindre än 100 μm . Avdriftsstudier utfördes i vindtunnel vid angivna vindhastigheter på avstånden 2,5, 5,0 10,0 15,0 m från munstyckets centrum

Munstycke/ utrustning	Metod	Tryck (bar)	Vindhastighet (m/s)
TeeJet 8001	2,5% Olja	1,0, 1,5, 2,0, 3,0	2,5
TeeJet 8001		1,0, 1,5, 2,0, 3,0	2,5
TeeJet 11001		2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 4,0	2,5
TeeJet 11004		1,5, 2,0, 3,0, 3,5, 4,0 2,5	2,5 1,0, 2,5, 4,0
TeeJet 11005VS		2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 4,0	2,5

Mätmetoder

Laboratorieförsöken inleddes med droppstorleksundersökningar varvid Malvern Particle Sizer användes. Mätpunktens läge framgår av figur 16.



Figur 16. För mätning av droppstorleken monterades munstycket med duschen lodrätt. Mätning skedde mitt i duschen 20 cm under munstycket.

Med detta mätförfarande finns risk att andelen små droppar överskattas, då de lätt håller sig svävande och räknas flera gånger. Vid litteraturstudien har framkommit att stora skillnader vad avser volymsandelen droppar mindre än 100 μm föreligger. Detta som en följd av att olika mätutrustningar användes men också som en följd av att olika rutiner tillämpas under mätförfarandet. T ex kan munstycket monteras med olika vinklar i förhållande till Malverns optiska bänk för att undvika att sprutdroppar träffar och stänker upp från denna. Alternativt kan bänken lutas i förhållande till horisontalplanet. Dessutom är inte mätpunktens placering i sprutduschen standardiserad, vilket försvårar jämförande studier av försöksresultat. Droppstorleksmätningarna utfördes som ett led i laboratorieförsöken för att komplettera fältförsöken.

Avdriftsstudier utfördes i en 17 meter lång vindtunnel där sprutobjekten (filterpapper) placerades på 2,5, 5,0, 10,0 och 15,0 meters avstånd från munstycket.

För att jämföra olika utrustningar och påvisa tryckets inverkan ur avdriftssynpunkt beräknades tidsåtgången för att spruta ett hundradels

hektar med ett munstycke med körhastigheten 6 km per timme. Därefter blandades fluorescerande medel och vatten så att en konstant mängd fluorescerande medel applicerades på beräknad tid, d.v.s. mängden utsprutad fluorescerande medel är i samtliga försöksled konstant per areaenhet. Avsatt vindavdriven sprutvätska på resp. avstånd uttrycks som relativtal för att underlätta jämförelse av de olika försöksleden.

Resultat av laboratorieförsök

Av tabell 12-17 framgår att munstycksstorlek och arbetstryck påverkar droppstorleksfördelningen. En ökning av arbetstrycket med två bar innebär som regel att procentuella volymsandelen droppar mindre än 100 μm ökar 2-3 ggr. Volymsmediandiametern kan för konventionella munstycken sägas ge en relativt bra beskrivning av sprutduschens vindkänslighet. Indelningen i storleksintervall skiljer sig något vid jämförelse av t ex tabell 13 och 14. Förklaringen ligger i att olika linser har använts på laserinstrumentet som en följd av att mätområdet varierar med munstycksstorlek och tryck.

Tabell 18 visar procentuell volymsandel som utgörs av droppar mindre än 100 μm och avsatt mängd sprutvätska på olika avstånd från munstycket vid vindstyrkan 2,5 m/s. Avsättningen på 5 meters avstånd för munstycke 11001 vid 2,0 bar har satts till 100. Värdena i tabellen har använts för att undersöka eventuellt samband mellan procentuell volymsandel droppar mindre än 100 μm och avsatt mängd sprutvätska på olika avstånd.

Tabell 12. Procentuell volym av sprutvätskan i olika droppstorleksintervall, VMD-värde. Munstycke TeeJet 8001 utan tillsatsmedel

Arbetstryck (bar)	Droppstorleksintervall (μm), procentuell Volym- volym av droppar (%)		Volym- mediandiameter (μm)
	<100	100 < x < 523	
1,0	8	83	280
1,5	12	84	240
2,0	16	81	200
2,5	19	78	165
3,0	21	76	140

Tabell 13. Procentuell volym av sprutvätskan i olika droppstorleksintervall, VMD-värde. Munstycke TeeJet 8001, oljetillsats 2,5 %

Arbetsstryck (bar)	Droppstorleksintervall (μm), procentuell volym av droppar (%)		Volym- mediandiameter (μm)
	<100	$100 < x < 523$	
1,0	6	77	330
1,5	10	85	280
2,0	14	83	240
2,5	17	79	205
3,0	19	79	170

Tabell 14. Procentuell volym av sprutvätska i olika droppstorleksintervall, VMD-värde, munstycke TeeJet 11001

Arbetsstryck (bar)	Droppstorleksintervall (μm), procentuell volym av droppar (%)		Volym- mediandiameter (μm)
	<104	$104 < x < 428$	
2,0	29	71	130
2,5	36	64	125
3,0	45	55	115
3,5	49	50	100
4,0	54	45	97

Tabell 15. Procentuell volym av sprutvätskan i olika droppstorleksintervall, VMD-värde. Munstycke TeeJet 11004

Arbetsstryck (bar)	Droppstorleksintervall (μm), procentuell volym av droppar (%)		Volym- mediandiameter (μm)
	<104	$104 < x < 428$	
1,5	5	65	350
2,0	7	68	325
2,5	10	72	297
3,0	12	72	278
3,5	14	71	265
4,0	16	70	255

Tabell 16. Procentuell volym av sprutvätskan i olika droppstorleksintervall, VMD-värde, munstycke 11005VS

Arbetsstryck (bar)	Droppstorleksintervall (μm), procentuell volym av droppar (%)		Volym- mediandiameter (μm)
	<104	$104 < x < 428$	
2,0	9	68	300
2,5	12	68	270
3,0	14	68	255
3,5	15	68	240
4,0	18	68	230

Tabell 17. Procentuell volym av sprutvätskan i olika droppstorleksintervall, VMD-värde. Spridare: (a) AirJet, vätskestryck 3,0 bar och lufttryck 0,8 bar, (b) Micromax, vätskestryck 3,0 bar och 2000 varv per minut, flöde 0,55 l/min.

	Droppstorleksintervall (μm), procentuell volym av droppar (%)		Volym- mediandiameter (μm)
	<104	$104 < x < 428$	
(a)	14	61	270
(b)	5	91	260

Vindstyrkans inverkan på avsatt mängd sprutvätska framgår av tabell 19. På avstånd upp till 10 meter från kördraget kan avsättningen öka 4-6 ggr. då vindstyrkan stegras från en till fyra meter per sekund.

Tabell 18. Procentuell volymsandel som utgörs av droppar mindre än 100 μm och avsatt mängd sprutvätska på olika avstånd från munstycket uttryckt som relativtal. Vindstyrka 2,5 m/s

Munstycke/ metod	Tryck (bar)	Procentuell volymsandel som består av droppar <100 μm (%)	Avsatt mängd sprutvätska (relativtal) på avstånden			
			2,5 m	5,0 m	10 m	15 m
8001	1,0	8	193	47	17	14
"	1,5	12	205	52	23	17
"	2,0	16	242	55	28	21
"	2,5	19	268	63	31	22
"	3,0	21	279	67	32	26
8001+olja	1,0	6	187	46	17	10
" - "	1,5	10	202	51	17	14
" - "	2,0	14	234	58	22	17
" - "	2,5	17	251	61	26	21
" - "	3,0	19	267	64	27	22
11004	1,5	5	195	44	27	16
"	2,0	7	216	38	30	18
"	2,5	10	236	54	35	24
"	3,0	12	259	56	34	28
"	3,5	14	273	56	38	29
"	4,0	16	280	59	45	35
11001	2,0	29	351	100	60	39
"	2,5	36	428	140	78	55
"	3,0	45	513	173	112	67
"	3,5	49	556	178	136	82
"	4,0	54	603	213	147	98
11005VS	2,0	9	200	41	21	16
"	2,5	12	228	50	24	20
"	3,0	14	237	56	30	24
"	3,5	15	237	56	33	27
"	4,0	18	265	66	35	29

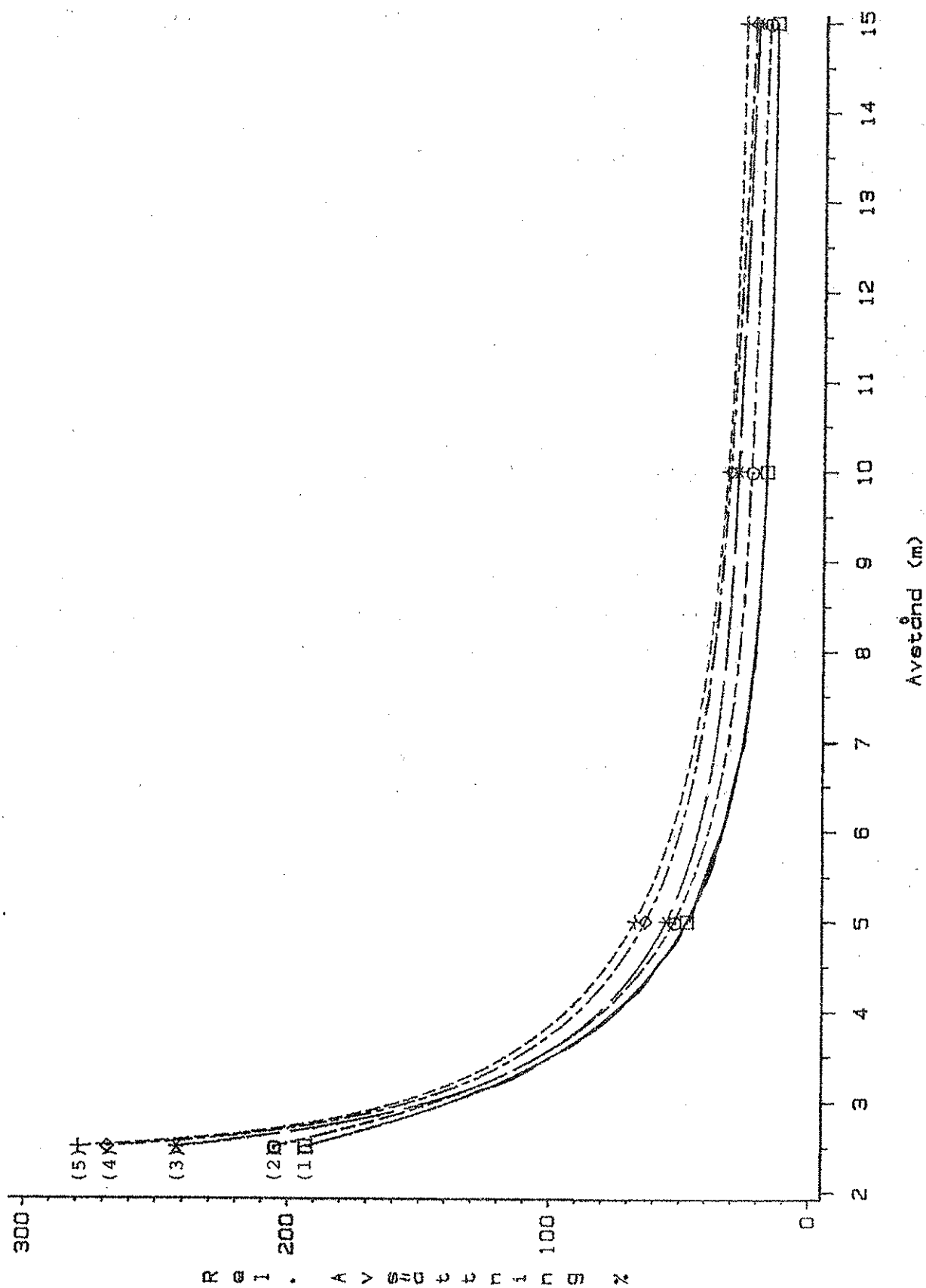
Tabell 19. Vindstyrkans inverkan på avsatt mängd sprutvätska på avstånden 2,5, 5,0, 10,0 och 15,0 meter från munstycket. Tryck 2,5 bar, munstycke 11004

Avstånd (m)	Vindstyrka (m/s)		
	1,0	2,5	4,0
Relativtal (%)			
2,5	100	236	628
5,0	26	54	155
10,0	15	35	59
15,0	12	24	37

Arbetsstryckets inverkan på relativa avsättningen vid avstånden 2,5-15 meter framgår av figur 17.

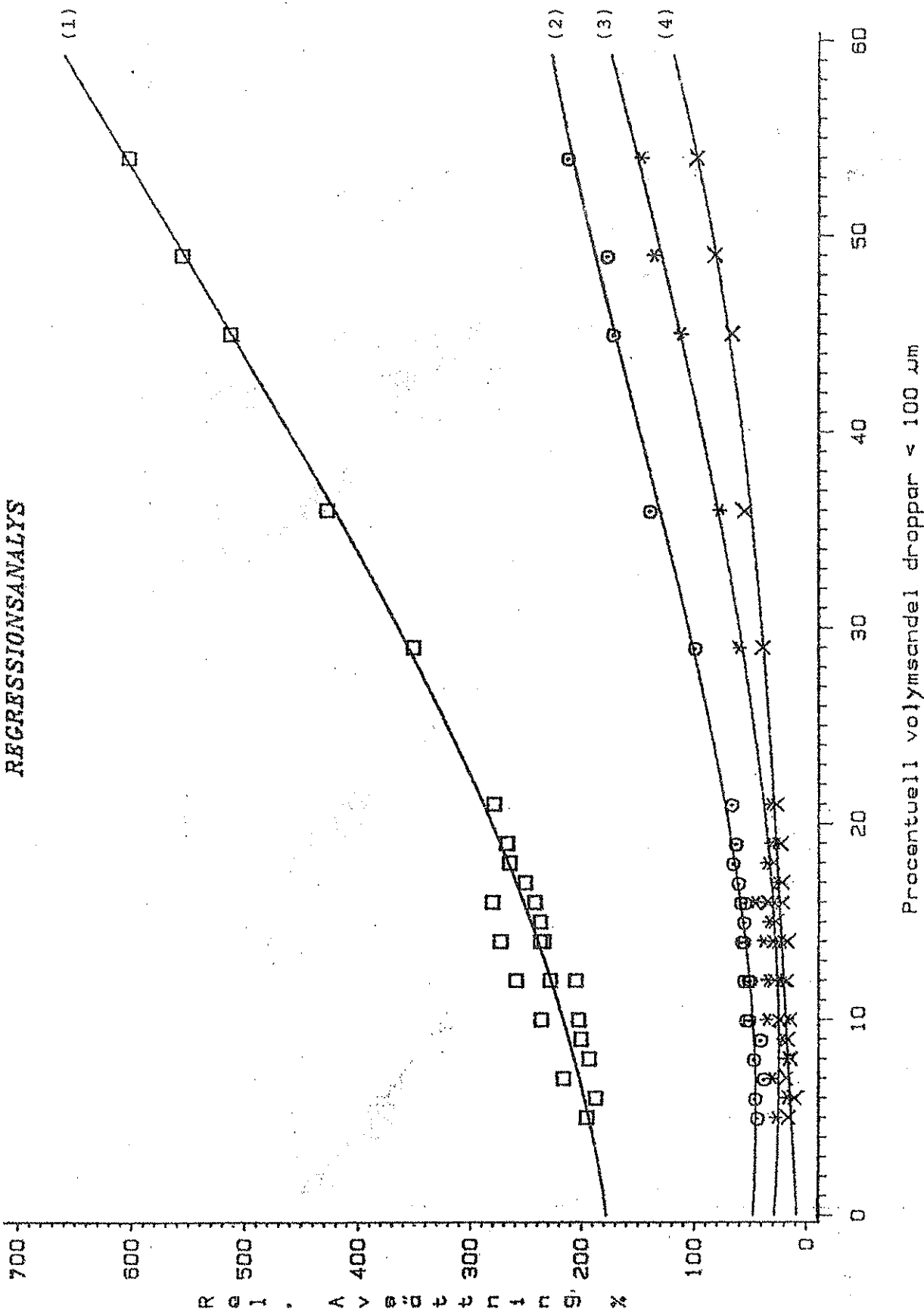
På insamlade data från vindtunnelförsöken gjordes regressionsanalys med rel. avsättningen som funktion av procentuella volymsandelen droppar mindre än 100 μm på avstånden 2,5, 5,0 10,0 och 15,0 meter från munstycket (fig. 18).

Relativa avsättningsens variation med avståndet från munstycket och procentuella volymsandelen droppar mindre än 100 μm framgår av figur 19.

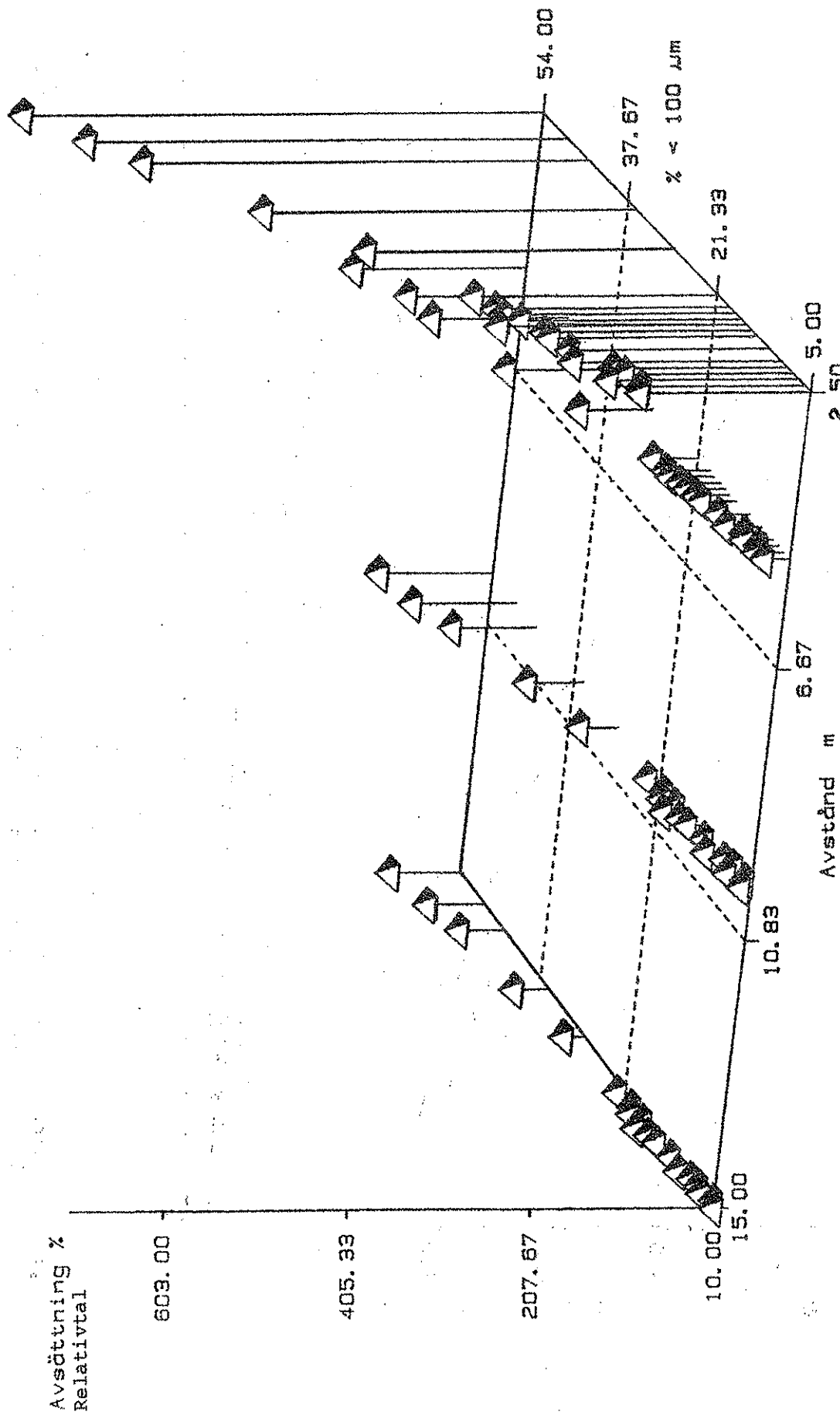


Figur 17. Relativ avsättning (%) som funktion av avståndet. Munstycke TeeJet 80 01. Vindhastighet 2,5 m/s. Arbetsstryck (1) 1,0, (2) 1,5, (3) 2,0, (4) 2,5 och (5) 3,0 bar.

REGRESSIONSANALYS



Figur 18. Regressionsanalys av relativa avsättningen (%) som funktion av procentuell volymsandel droppar mindre än 100 μm. Avstånd från munstycke (1) 2,5, (2) 5,0, (3) 10,0 och (4) 15,0 meter.



Figur 19. Avdriftsstudier i vindtunnel. Relativa avsättnings variation med avståndet och procentuella volymsandelen droppar mindre än 100 μm.

FELKÄLLOR

Felkällorna i en sådan här undersökning kan vara av varierande karaktär. Felen kan vara orsakade av bristande tillförlitlighet hos försöksutrustningen eller orsakade av den mänskliga faktorn. Dessutom kan de klimatiska faktorerna få en avgörande inverkan på det slutliga resultatet då försöksmaterialet är begränsat.

Sambandet mellan procentuell volymsandel droppar mindre än 100 μm och avsättningen i % på olika avstånd undersöktes genom att prova hur väl några olika kurvor beskrev försöksresultatet (bilaga 7 och 8). De kurvor som bäst korrelerade var den linjära och den exponentiella. Anpassning av kurvor utfördes på avsättningsdata framtagna i fält och laboratorium. En sammanställning av ekvationerna som bäst korrelerade till försöksmaterialet återfinns i bilaga 9.

Försöksutrustning

Manometrarna ansågs kunna utgöra en betydande felkälla och undersöktes därför med Holders utrustning för manometertest.

Vätskemängd per hektar är den enskilda faktor som i beräkningarna kan ha påverkat resultatet mest, därför kontrollerades munstycksflöde och körhastighet för respektive utrustning.

Väderleksförhållanden

Mikroklimatets variationer under pågående försök registrerades inte och här kan skillnader mellan försöksleden ha förekommit, trots att temperaturen och relativa luftfuktigheten var desamma.

Vindstyrkans medelvärde registrerades före och efter försökens genomförande. Vindstabiliteten under försökstiden registrerades inte vilket medför en liten osäkerhetsfaktor vid bedömning av resultaten. Vindriktningens stabilitet är ytterligare en faktor som kan ha påverkat resultaten.

Vindtunnel

Inverkan av turbulens på avsättningen vid olika vindhastigheter är svår att bedöma och därmed hur avsättningen i vindtunnelförsöken korrelerar till avsättningen under fältförhållanden.

DISKUSSION OCH SAMMANFATTNING

Tio olika utrustningar testades och metoden med fluorescerande medel användes för bestämning av avsatt mängd vindavdriven sprutvätska. Mätningar utfördes i både fält och laboratorium vid vindhastigheterna 1,0, 2,5 och 4,0 m/s och vid olika tryck. I fält placerades artificiella uppsamlingsobjekt (filtrerpapper) 2,5, 5,0, 10,0, 15,0 och 20,0 m i lä om sprutdraget och parallellt med detta. En 17 m lång vindtunnel användes i laboratorieförsöken, mätningar utfördes 2,5, 5,0, 10,0 och 15,0 meter från munstycket. Droppstorleksmätningar utfördes med laserinstrument, Malvern Particle Sizer, med olika munstycken och tryck. Den procentuella volymsandelen droppar mindre än 100 µm registrerades och användes som oberoende variabel för att anpassa de kurvor som bäst anslöt till försöksdata. Det visade sig att antingen den linjära ($Y=a+b \cdot x$) eller den exponentiella ($Y=a \cdot e^{(b \cdot x)} (a>0)$) kurvan gav den bästa korrelationen. Uppmätta skillnader i avsatt vindavdriven sprutvätska för utrustningarna som undersöktes kunde i huvudsak hänföras till skillnader i den procentuella volymsandelen droppar mindre än 100 µm. Ett undantag utgjorde Micromax-spridarna vilka trots den lägsta uppmätta mängd droppar mindre än 100 µm resulterade i relativt höga avsättningsvärden.

Undersökningen visar på ett markant sätt värdet av att de rekommendationer som finns noga följs. Reducera arbetstrycket, undvik sprutning i starkare vind än 3-4 m/s och beakta temperatur och luftfuktighet. Dessutom visade sig valet av utrustning och munstycksstorlek vara av stor betydelse för att erhålla en sprutdusch med procentuellt sett liten andel droppar mindre än 100 µm.

Förbättringar av avdriftssituationen kan ganska enkelt genomföras. Men utrustning för att mäta temperatur, relativ fuktighet och vindhastighet måste troligtvis finnas tillgänglig vid varje bekämpning. Ytterligare potential att reducera vindavdriften finns i användandet och vidareutvecklandet av vindskärmar. De senaste 5-10 åren av appliceringsteknisk forskning har visat att den biologiska

effekten kan förbättras genom att droppstorleken minskas för att erhålla en bättre kvalitativ avsättning. Detta kommer utan tvekan att leda till ökade avdriftsrisker om inte adekvata åtgärder vidtages.

Litteraturgenomgången visade att kontamination av sprutföraren till övervägande del uppstår under momenten:

- o handhavande av koncentrerat preparat
- o rensning av igensatta munstycken
- o tömning/rengöring av spruttank och utrustning.

En ökad satsning på användning och utveckling av en eller flera av följande system borde på ett markant sätt kunna bidra till en minimering av nämnda riskfaktorer:

- o Slutna påfyllningssystem
- o Doseringsutrustning för direkt injicering av preparat i vätskeströmmen nära spridarna
- o Självrensande munstycken
- o Utrustning för att reducera vindpåverkan t ex vindskärmar.

LITTERATUR

- Abbott, I. et al. 1983. Spray operator safety study. British Agrochemicals association limited, Alembic House, 93 Albert Embankment, London, SE1 7TU.
- Allroth, P.-A. 1986. Personlig information. Forskningslaboratoriet, Karlshamns Oljefabriker. Karlshamn.
- Alness, K. Opublicerat material, Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. f. lantbruksteknik. Uppsala.
- Amsden, R.C. 1962. Reducing the evaporation of sprays. Agric. Aviat. 4, 88-93.
- Anon (1980). Threshold Limit Values for chemical substances in work-room air. In Handbook of Occupational Hygiene, B. Harvey (Ed.), Kluwer, Brentford, 13. 1-65 - 13.1-88.
- Arvidsson, T. 1985. Fytotoxiska effekter och resthalt av MCPA i vårraps orsakade av vindavdrift. Institutionen för växtodling. Uppsala 1985.
- Bals, E.J. 1975. The importance of Controlled Droplet Application (CDA) in pesticide applications. Proceeding 8th British Insecticide and Fungicide Conference, I, 59-63.
- Bjugstad, N., Nordby, A., Torgrimsen, T. 1985. Arbeidsmiljø ved spredning av plantevernmidler. Informationsmøte Plantvern 1985. Aktuellt fra Statens Fagteneste for Landbruket, nr 2. 1985.
- British Agrochemicals Association Ltd, 1983. Spray Operator Safety Study. Alembic House. 93 Albert Embankment. SE1 7TU.
- Bode, L.E., Zain, S.B. Spray Drift Deposits from Low Volume Application Using Soybean Oil and Water Carriers.
- Chester, G. & Woollen, B.H. 1981. Studies of the occupational exposure of Malaysian plantation workers to paraquat. Brit. J. Ind. Med., 38, 23-33.
- Coutts, H.H. and Yates, W.E. 1968. Analysis of spray droplet distribution from agricultural aircraft. Trans.Am.Soc. Agric. Eng., 11, 25-27.
- Dejonckheere, W., Steurbant, W., Kips, R.H. 1975. Bull Environ: Cont, Toxicol. 13, 720.
- Dejonckheere, W., Steurbant, W., Kips, R.H. 1976. Pestic. Monit. J. 10, 68

- Dejonckheere, W. 1979. Residues van pesticiden. Overzicht en bespreking van resultaten van onderzoek naar residues van pesticiden in België gedurende de voorbije 10 jaar. Laboratorium voor Fytofarmacie, Rijksuniversiteit, Ghent.
- Dubelman, S., Lauer, R., Arras, D.D., Stephen, A.A. et al. 1982. Operator exposure measurements during application of the herbicide diallate. I. Agric. Food Chem., 30: 528-532.
- Ebeling, W. 1973. Analysis of the basic processes involved in the deposition, degradation, persistence, and effectiveness of pesticides. Resid. Rev. 3, 35.
- Graham-Bryce, I.J. 1976. Chem. Indust. 1, 545.
- Graham-Bryce, I.J. 1977. Crop protection: a consideration of the effectiveness and disadvantages of current methods and of scope for improvement. Philosophical Transaction of the Royal Society of London, Series B, 281, 163-179.
- Heinisch, E., Paneke, H., Nagel, H.D., Hansen, D. 1976. Agro-chemikalien in der Umwelt. V.E.B. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Heinisch, E. 1978. Biogeochemische Kreisläufe persistenter organischer Verbindungen. Akademie Verlag-Berlin. DDR.
- Johnstone, D.R. 1971. Droplet size for low and ultra low volume spraying. Cotton Growing Rev., 48, 218-233.
- Johnstone, D.R. 1972. Cotton Growing Rev., 49, 166.
- Johnstone, D.R. 1985. Pesticide Application: Principles and Practice. p. 60. Edited by P.T. Haskell.
- Kaufman, D.D., Still, G.G., Paulson, G.D., Bandal, S.K., 1976. Bound and conjugated pesticide residues. A.R.C. Symposium series no. 29, Washington.
- Kips, R.H. 1985. Environmental aspects. PAPP p. 190.
- Lake, J.R., Frost, A.R., Wilson, J.M. 1979. The flight times of spray drops under the influence of gravitational, aerodynamic and electrostatic forces. Spraying systems for the 1980's Monograph No 24, 119-127.
- Lavy, T.L. et al. 1982. 2, 4-Dichlorophenoxyacetic acid exposure recieved by aerial application crews during forest spray operations. J. Agric. Food Chem., 30:375-381.
- Lloyd, G.A., Bell, G.J., 1982. Relative contamination of humans and the environment by spray drift from use of a tractor-mounted drift sprayer (the ULVAMAST) and conventional hydraulic equipment. Proceedings 1982 British Crop Protection Conference-Weeds. p. 1045-1054.
- Matthews, G.A. 1979. Pesticide application methods. 334 s, London.

- Newton, I. 1984. Raptors in Britain. A review of the last 150 years. BTO News, 131, 6-7.
- Nordby, A., Skuterud, R. 1975. The effects of boom height, working pressure and wind speed on spray drift. Weed Research. Vol. 14. 385-395.
- Nordby, A., Bjugstad, N., Torgrimsen, T. 1986. Arbeidssituasjon ved spredning av plantevernmidler. Nordisk plantevernkonferanse, nr 8. 1986. s. 21-33.
- Putnam, A.R., Willies, M.D., Binning, L.K., Boldt, P.F. 1983. Exposure of Pesticide Applicators to Nitrofen: Influence of Formulation, Handling Systems, and Protective Garments. J. Agric. Food Chem. 1983, 31, 645-650.
- Richardson, L.F. 1920. Proc. R. Soc. Ser. A 97, 354.
- Taylor, W.A., Merritt, C.R. 1975. Some physical aspects of the performance of experimental equipment for controlled drop application with herbicides. Proceedings 8th British Insecticide and Fungicide Conference, I, 161-170.
- Threadgill, E.D., Smith, D.B. 1975. Effects of Physical and Meteorological Parameters on the Drift of Controlled-Size Droplets. Trans.Am.Soc.Agric.Eng. 18, 51.
- Wheatly, G.A. 1973. In Environmental pollution by pesticides. (ed. C.A. Edwards.) Plenum Press, New York and London.
- WHO 1978. WHO Tech. Rep. Ser. 620, 8.
- WHO 1979. WHO Tech. Rep. Ser. 634, 9.
- WHO 1982. Field Surveys of exposure to pesticides. Standard Protocol, VBC/82. I Division of Vector Biology and Control, Geneva.
- Wolfe, H.R., William, Durham, W.F., Armstrong, J.F. et al., 1967. Exposure of workers to pesticides. Arch. Environ. Health., 14:622-632.
- Yates, W.E., Akesson, N.B. 1973. Reducing pesticide chemical drift, in Pesticide Formulations (ed. W. van Valkenburg). Marcel Dekker, New York.
- Akerblom, M., Jansson, L., Forsberg, K. 1986. Permeation av bekämpningsmedel genom skyddskläder. Aktuellt fra statens fagtjeneste for landbruket. Nordisk plantevernkonferanse 1986. Nr. 8 35-41.

PESTICIDE EXPOSURE—WOLFE ET AL.

Table 1.—Summary of Published Studies on Potential Exposure of Workers to Pesticides Using Direct Methods

Compound	Activity	Exposure			Reference
		Dermal (mg/hr)	Respiratory (mg/hr)	Total (% Toxic Dose/hr)	
Azinphosmethyl	Checking cotton for insect damage	5.4	et*	(0.04)†	51
Azinphosmethyl	Air blast spraying fruit orchards during night	541	0.47	6.5 (3.5)‡	34
Azinphosmethyl	Air blast spraying fruit orchards during day	755	0.54	8.4 (4.9)†	34
Azinphosmethyl	Air blast spraying fruit orchards	12.5	0.26	(0.1)	30
Azinphosmethyl	Air blast spraying fruit orchards	9.9	0.1	0.15	46
Azinphosmethyl	Air blast spraying fruit orchards	27.2	0.04	0.18	This paper
Azinphosmethyl	Filling spray tank	~52.9	1.27	0.72 (0.46)‡	30
Azinphosmethyl	Working in formulating plant	10.1	0.56	(0.1)	30
Benzene hexachloride	Spraying forests	(70.3)	(3.06)	(0.29)	52
Benzene hexachloride	Hand spraying for mosquitoes	(10.2)	(4.29)	(0.15)	Wassermann-M. et al, unpublished data
Carbaryl	Air blast spraying fruit orchards	25.3	0.29	0.03	33
Carbaryl	Air blast spraying fruit orchards	24.9	0.48	0.02	46
Chlorthion	Operating aerosol machine for mosquitoes	(3)	(0.3)	(0.003)	53
DDT	Indoor house spraying	543	...	(>0.31)	54
DDT	Indoor house spraying	1,755	7.1	(1.02)	48
DDT	Outdoor house spraying	84	...	(>0.05)	54
DDT	Outdoor house spraying	243	0.11	(0.14)	48
DDT	Spraying forests	(212)	(4.92)	(0.15)	52
Dieldrin	Hand-spraying of dwellings for disease vector control	(18.6)	...	(>0.33)	55
Dieldrin	Spraying pear orchards	14.2	0.25 (0.03)‡	0.24	56
Dieldrin	Operating power air blast machine spraying fruit orchards	15.5	0.03	0.25	This paper
Dieldrin	Power hand gun spraying fruit orchards from portable machine	15.1	0.03	0.25	This paper
DNOC	Spray-thinning apples	63.2	0.4	(0.25)	47
DNOC	Spray-thinning apples	57.5	2.75	0.20	34
DNOC	Spray-thinning apples	24.4	0.03	(0.1)	24
DNOC	Chemical thinning apple blossoms by power hand gun spraying	55.1	0.13	0.13	This paper
DNOC	Chemical thinning apple blossoms by power air blast spray machine	22.5	<0.05	0.05	This paper
DNOSBP	Herbicide spraying corn and pea fields with boom ground sprayers	88.7	0.12	(0.57)†	24
Endrin	Spraying orchard cover crops for mouse control	2.6	0.01	0.21	56
Endrin	High pressure power hand gun spraying orchard cover crops for mouse control	3	0.01	0.25	This paper
Endrin	Operating power air blast or boom sprayers treating orchard cover crops for mouse control	2.5	0.01	0.21	This paper
Endrin	Dusting potatoes	18.7	0.41	1.5	56
Endrin	Spraying row crops	0.15	et	(0.01)	33
Endrin	Piloting airplane during air application	1.18	0.08	0.29 (0.16)‡	33
Malathion	Operating aerosol machine	(6.6)	(0.3)	(0.003)	53
Malathion	Air blast spraying fruit orchards	2.5	0.08	0.002 (0.001)‡	33
Malathion	Air blast spraying fruit orchards	30	0.11	0.01	This paper
Malathion	Persons outdoors during air application to populated area.	(0.89)	(0.055)	(<0.001)	57
Malathion	Persons indoors during air application to populated area	(0.25)	(0.012)	(<0.001)	57

PESTICIDE EXPOSURE—WOLFE ET AL

Table 1.—Summary of Published Studies on Potential Exposure of Workers to Pesticides Using Direct Methods (Continued)

Compound	Activity	Exposure			Reference
		Dermal (mg/hr)	Respiratory (mg/hr)	Total (% Toxic Dose/hr)	
Methyl Parathion	Checking cotton for insect damage	0.7	el	(0.02)	51
Parathion	Air blast spraying fruit orchards	77.7	0.16	(5.4)	16
Parathion	Air blast spraying fruit orchards	2.4	0.03	0.43 (0.18)†	33
Parathion	Air blast spraying fruit orchards	19	0.02	1.33	45
Parathion	Concentrate air blast spraying fruit orchards	28	0.06	1.95	45
Parathion	High pressure power hand gun spraying fruit orchards	55.8	0.19	(3.9)	16
Parathion	Hand knapsack mist spraying tomato bushes	9.1	0.29	(0.82)	58

* el indicates "below the experimental limits of the chemical method."

† All values shown in parentheses were not included in the original paper but were calculated by the present authors.

‡ Calculations based on the original authors' published dermal and respiratory exposure data indicated that the correct total exposure as a percentage of the toxic dose per hour should be the values shown in parentheses rather than the figures originally published.

§ These original values were calculated on the basis of maximum exposure. The recalculated values shown in parentheses are based on mean exposure.

|| Study of the original data on which the published respiratory value (0.25 mg/hr) was based indicated that this figure was derived in error and should have been 0.03 mg/hr.

Bilaga 2

Procentuell avsättning som erhöjls på avstånd 0, 2,5, 5,0, 10 och 15 meter vid vindhastigheterna 1,0, 2,5 och 4,0 m/s med utrustningarna enligt försöksplan (A).

Led	Vind m/s	Utrustning/ tryck (bar)	Procentuell droppvolym <100 µm	Avstånd (m)					
				0,0	2,5	5,0	10,0	15,0	20,0
				Avsättning (%)					
a	1,0	TeeJet	21 %	84,1	0,140	0,028	0,012	0,007	0,006
	2,5	8001		80,9	0,267	0,063	0,027	0,022	0,016
	4,0	3 bar		76,1	0,594	0,199	0,080	0,045	0,036
b	1,0	TeeJet	-						
	2,5	8001+ES							
	4,0	3 bar		77,2	0,995	0,484	0,304	0,088	0,042
c	1,0	TeeJet	-						
	2,5	8001							
	4,0	ES+Olja 3 bar		77,0	0,625	0,227	0,108	0,065	0,044
d	1,0	TeeJet	19 %	85,5	0,127	0,024	0,010	0,006	0,006
	2,5	8001							
	4,0	Olja 3 bar		83,6 82,7	0,251 0,532	0,056 0,139	0,026 0,070	0,020 0,047	0,016 0,035
e	1,0	TeeJet	36 %	88,6	0,402	0,154	0,042	0,031	0,012
	2,5	11001		87,0	0,789	0,274	0,153	0,075	0,053
	4,0	2,5 bar		82,3	2,402	0,791	0,317	0,158	0,080
f	1,0	TeeJet	10%	89,8	0,098	0,018	0,007	0,005	0,005
	2,5	11004		89,3	0,244	0,042	0,025	0,018	0,012
	4,0	2,5 bar		87,1	0,510	0,103	0,040	0,035	0,029
g	1,0	TeeJet	9 %	89,7	0,115	0,020	0,008	0,005	0,004
	2,5	11005VS		86,9	0,236	0,038	0,020	0,018	0,013
	4,0	Tryck 2,0		84,5	0,490	0,089	0,041	0,034	0,026
h	1,0	AirJet	14%	89,7	0,325	0,050	0,012	0,008	0,001
	2,5	Vätsketryck							
	4,0	3,0 bar Lufttryck 0,8 bar							
i	1,0	Micromax	5%	84,4	0,306	0,046	0,011	0,007	0,006
	2,5	Tryck 3,0							
	4,0	vpm 2000		79,9	1,237	0,224	0,078	0,047	0,032
j	1,0		-		0,183	0,040	0,014	0,009	0,010
	2,5	Hardi Mini-			0,558	0,101	0,046	0,037	0,024
	4,0	variant Tryck 11,8 bar			1,335	0,274	0,180	0,076	0,049

FILTERPAPER

Number	Recovery in %	Deposit in µg/collector	PFM2 Reading
1	2.193	.152	121.8
2	3.205	.223	178.0
3	3.061	.213	170.0
4	2.021	.140	112.2
5	2.395	.166	133.0
6	2.458	.171	136.5
7	2.611	.181	145.0
8	2.611	.181	145.0
9	3.133	.218	174.0
10	2.710	.188	150.5
11	2.274	.158	126.3
12	2.539	.176	141.0
13	2.429	.169	134.9
14	2.278	.158	126.5
15	2.024	.141	112.4
16	1.900	.132	105.5
17	2.085	.145	115.8
18	2.314	.161	128.5
19	2.455	.170	136.3
20	2.303	.160	127.9
21	2.355	.164	130.8
22	2.312	.161	128.4
23	2.618	.182	145.4
24	2.071	.144	115.0
25	1.963	.136	109.0
26	2.388	.166	132.6
27	2.383	.165	132.3
28	2.152	.149	119.5
<hr/>			
Mean	2.402	.167	133.4
Stand. dev.	.332	.023	18.4
Varians	13.832	13.832	13.8
<hr/>			

DATE OF TEST 860703 kl 14.00
 Equipment: Conventional Flat Fan
 Pressure & Nozzle: 2.5 bar TeeJet 11001
 l/ha 58.0
 Distance 2.5 m
 Wind Velocity 4 m/s
 Temperature 24°C Rel. Hum 35 %
 NAME OF FILE IS P26

Bilaga 4

NAME OF FILE IS S10 (Spraymix concentration, trial no 10,
Hardi Minivariant)

Number	PFM2 Reading (in $\mu\text{g/l}$)	Spray Conc. (g/ha)
1	97.3	19.460
2	102.3	20.460
3	100.5	20.100
4	100.6	20.120
<hr/>		
Mean	100.2	20.035

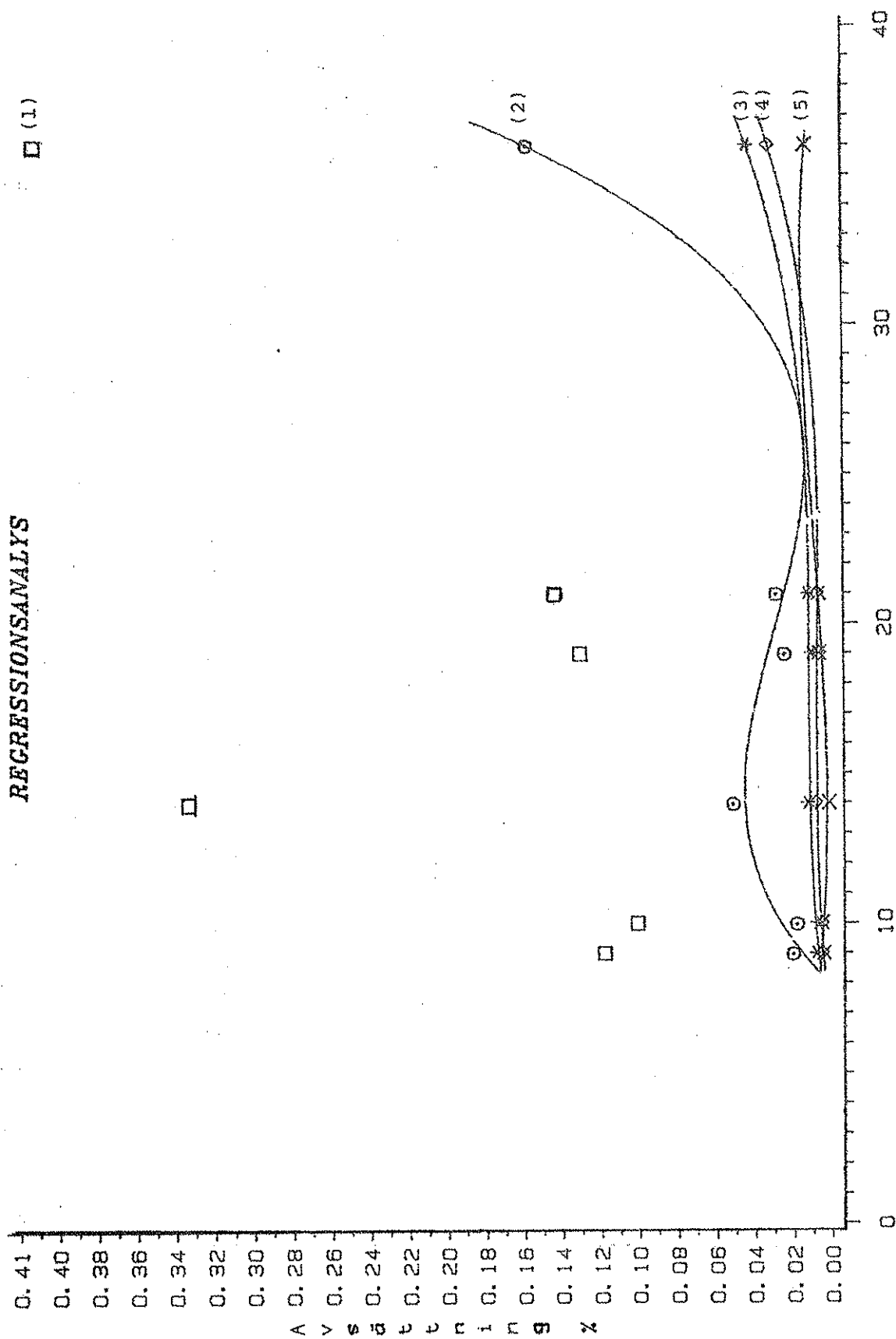
Dilution factor is 1000
Liter per hectare is 200.0

Bilaga 5

TEST II DATE OF TEST 860618 TIME 14.00

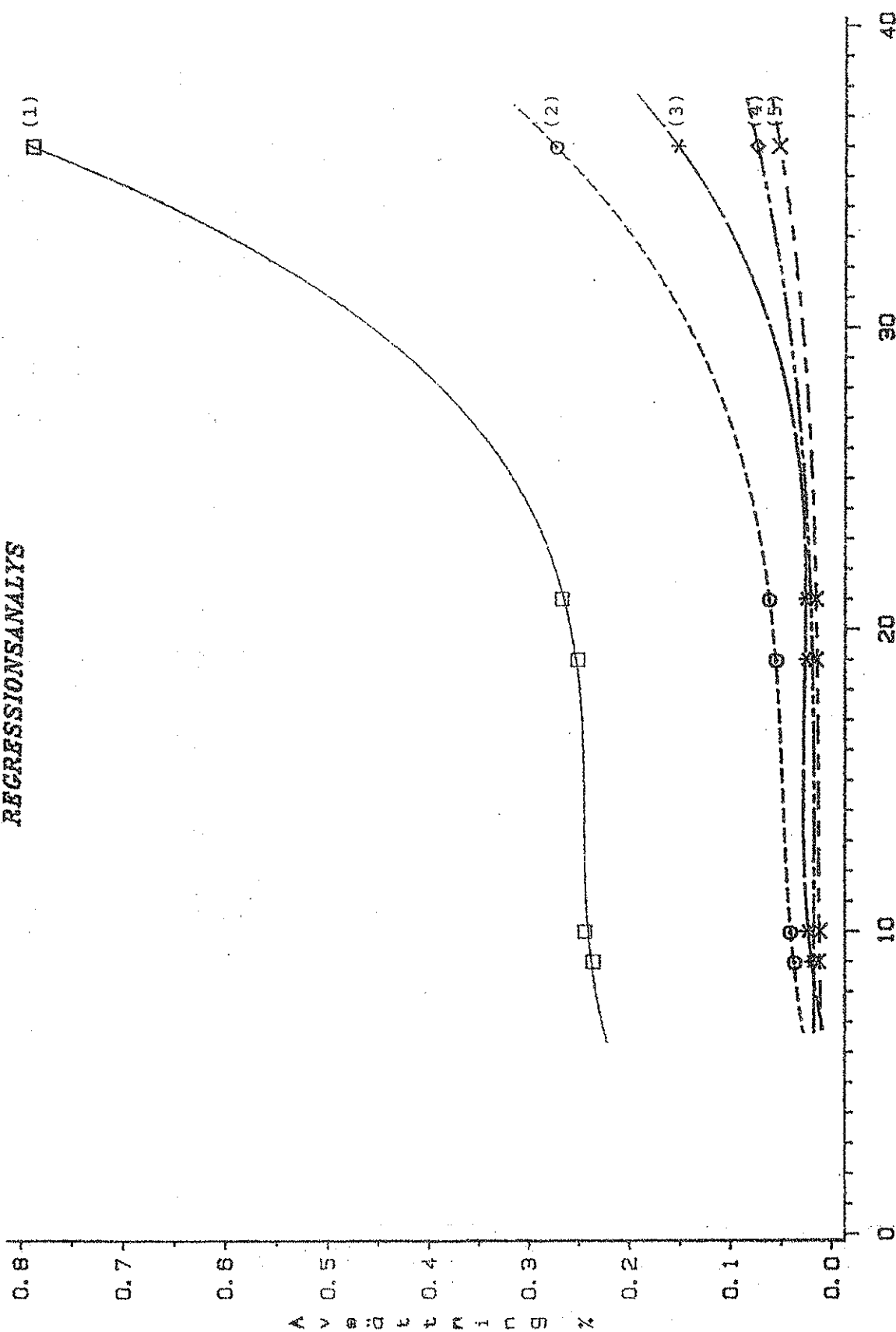
Equipment: Conventional flat fan + ES
 Pressure & Nozzle: 3.0 bar TeeJet 8001
 L/HA 91
 Wind Velocity 4 m/s
 Temperature 23°C Rel. Hum 50 %
 Spray mix concentration 7.479 g/ha

Distance (in m)	Name of file	Volume (in ml)	Area (in cm ²)	Spray mix conc. (in g/ha)
0.0	M5	12	95.033	7.479
2.5	M6	6	95.033	7.479
5.0	M7	8	190.066	7.479
10.0	M8	10	285.099	7.479
15.0	M9	11	380.132	7.479
20.0	M10	11	380.132	7.479



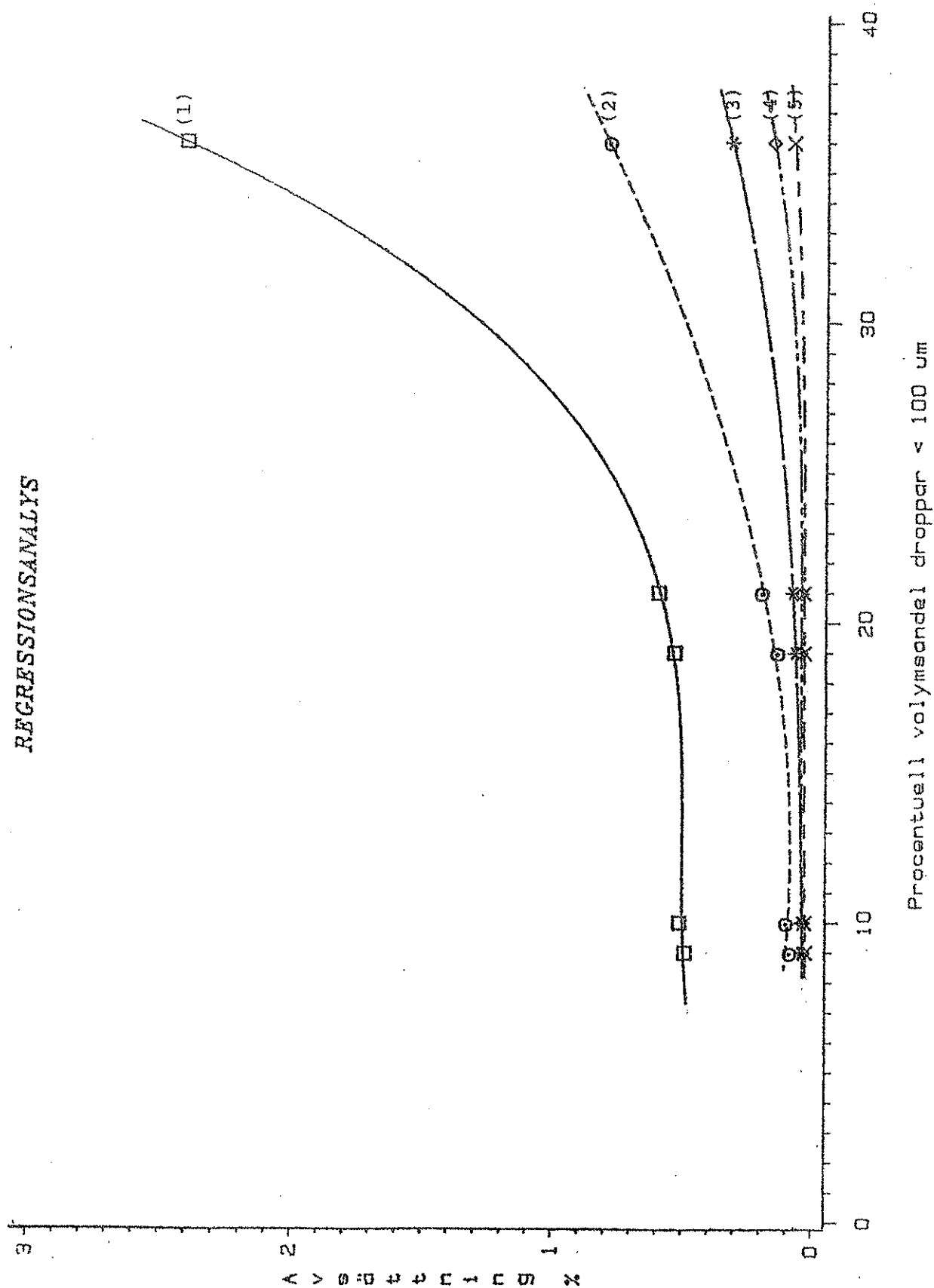
Avsättningsstudier i fält. Avsättning (%) som funktion av procentuell volymsandel droppar mindre än 100 μ m. Avstånd från sprutdragets ytterkant (1) 2,5, (2) 5,0, (3) 10,0 (4) 15,0 och (5) 20,0 meter. Vindhastighet 1,0 m/s.

REGRESSIONSANALYS



Avsättningsstudier i fält. Avsättning (%) som funktion av procentuell volymsandel droppar mindre än 100 um. Avstånd från sprutdragets ytterkant (1) 2,5, (2) 5,0, (3) 10,0, (4) 15,0 och (5) 20,0 meter. Vindhastighet 2,5 m/s.

REGRESSIONSANALYS



Avsättningsstudier i fält. Avsättning (%) som funktion av procentuell volymsandel droppar mindre än 100 µm. Avstånd från sprutdragets ytterkant (1) 2,5, (2) 5,0, (3) 10,0, (4) 15,0 och (5) 20,0 meter. Vindhastighet 4,0 m/s.

Bilaga 7(1)

DETERMINATION OF EQUATION FOR DEPOSIT VOLUME (%) - VOLUME PERCENTAGE OF DROPLETS <100 μm . DISTANCE 2.5 METER

DATA FOR TRANSFORMATIONS TO LINEAR REGRESSION FORM

	1	Variable 2	3	4
	X	Variable ln(X)	Y	ln(Y)
Observation	Variable Value			
1	8.000	2.070	193.000	5.263
2	12.000	2.485	205.000	5.323
3	16.000	2.773	242.000	5.489
4	19.000	2.944	268.000	5.591
5	21.000	3.045	279.000	5.631
6	6.000	1.792	187.000	5.231
7	10.000	2.303	202.000	5.308
8	14.000	2.639	234.000	5.455
9	17.000	2.833	251.000	5.525
10	19.000	2.944	267.000	5.587
11	5.000	1.609	195.000	5.273
12	7.000	1.946	216.000	5.375
13	10.000	2.303	236.000	5.464
14	12.000	2.485	259.000	5.557
15	14.000	2.639	273.000	5.609
16	16.000	2.773	280.000	5.635
17	29.000	3.367	351.000	5.861
18	36.000	3.584	428.000	6.059
19	45.000	3.807	513.000	6.240
20	49.000	3.892	556.000	6.321
21	54.000	3.989	603.000	6.402
22	9.000	2.197	200.000	5.298
23	12.000	2.485	228.000	5.429
24	14.000	2.639	237.000	5.468
25	15.000	2.708	237.000	5.468
26	18.000	2.890	265.000	5.580

CORRELATIONS RESULTING FROM TRANSFORMED CURVES

Type of Curve	Correlation Function	Result	Untransformed Equation
Linear	Corr(1,3)	0.986	$Y=A+B \cdot X$
Exponential	Corr(1,4)	0.982	$Y=A \cdot e^{(B \cdot X)}$ (A>0)
Logarithmic	Corr(2,3)	0.898	$Y=A+B \cdot \ln(X)$
Power	Corr(2,4)	0.937	$Y=A \cdot X^B$ (A>0)

The "best fit" straight line corresponds to the linear curve:

	Untransformed Equation	Transformed Equation
Equation	$Y = A + B \cdot X$ $Y = 126.182 + 8.469 \cdot X$	$Y = A + B \cdot X$ $Y = 126.182 + 8.469 \cdot X$
Y=Deposit %		
X=Volume <100 $\mu\text{m}(\%)$		
Intercept	A = 126.182	A = 126.182
Slope	B = 8.469	B = 8.469

Distance 2.5 m

DETERMINATION OF EKQATION FOR DEPOSIT VOLUME (%) - VOLUME PERCENTAGE OF DROPLETS <100 μ m. DISTANCE 5.0 METER

DATA FOR TRANSFORMATIONS TO LINEAR REGRESSION FORM

	1	Variable 2	3	4
	X	Variable ln(X)	Y	ln(Y)
Observation	Variable Value			
1	8.000	2.070	47.000	3.850
2	12.000	2.485	52.000	3.951
3	16.000	2.773	55.000	4.007
4	19.000	2.944	63.000	4.143
5	21.000	3.045	67.000	4.205
6	6.000	1.792	46.000	3.829
7	10.000	2.303	51.000	3.932
8	14.000	2.639	58.000	4.060
9	17.000	2.833	61.000	4.111
10	19.000	2.944	64.000	4.159
11	5.000	1.609	44.000	3.784
12	7.000	1.946	38.000	3.638
13	10.000	2.303	54.000	3.989
14	12.000	2.485	56.000	4.025
15	14.000	2.639	56.000	4.025
16	16.000	2.773	59.000	4.078
17	29.000	3.367	100.000	4.605
18	36.000	3.584	140.000	4.942
19	45.000	3.807	173.000	5.153
20	49.000	3.892	178.000	5.182
21	54.000	3.989	213.000	5.361
22	9.000	2.197	41.000	3.714
23	12.000	2.485	50.000	3.912
24	14.000	2.639	56.000	4.025
25	15.000	2.708	56.000	4.025
26	18.000	2.890	66.000	4.190

CORRELATIONS RESULTING FROM TRANSFORMED CURVES

Type of Curve	Correlation Function	Result	Untransformed Equation
Linear	Corr(1,3)	0.981	$Y=A+B \cdot X$
Exponential	Corr(1,4)	0.988	$Y=A \cdot e^{(B \cdot X)}$ (A>0)
Logarithmic	Corr(2,3)	0.873	$Y=A+B \cdot \ln(X)$
Power	Corr(2,4)	0.930	$Y=A \cdot X^B$ (A>0)

The "best fit" straight line corresponds
to the exponential curve:

	Untransformed Equation	Transformed Equation
Equation	$Y = A \cdot e^{(B \cdot X)}$ ($A > 0$) $Y = 34.354 \cdot e^{(0.035 \cdot X)}$	$\ln(Y) = \ln(A) + B \cdot X$ $\ln(Y) = 3.537 + 0.035 \cdot X$
Y=Deposit %		
X=Volume <100 μm (%)		
Intercept	A = 34.354	A = 3.537
Slope	B = 0.035	B = 0.035

Wind velocity 2.5 m/s

Distance 5.0 m

Field studies

Wind velocity 2.5 m/s

Distance (m)

Curve	<u>Untransformed Equation</u> <u>Transformed Equation</u>	
exp. 2.5	$Y=0.138 \cdot e^{(0.043 \cdot X)}$	$\ln(Y)=-1.979+0.043 \cdot X$
exp. 5.0	$Y=0.018 \cdot e^{(0.071 \cdot X)}$	$\ln(Y)=-4.027+0.071 \cdot X$
exp. 10.0	$Y=0.009 \cdot e^{(0.052 \cdot X)}$	$\ln(Y)=-4.678+0.070 \cdot X$
exp. 15.0	$Y=0.009 \cdot e^{(0.052 \cdot X)}$	$\ln(Y)=-4.659+0.052 \cdot X$
exp. 20.0	$Y=0.007 \cdot e^{(0.053 \cdot X)}$	$\ln(Y)=-4.998+0.053 \cdot X$

Laboratory studies

Wind velocity 2.5 m/s

Distance (m)

Curve

linear 2.5	$Y=126.182+8.469 \cdot X$	
exp. 5.0	$Y=34.354 \cdot e^{(0.035 \cdot X)}$	$\ln(Y)=3.537+0.035 \cdot X$
linear 10.0	$Y=4.800+2.566 \cdot X$	
linear 15.0	$Y=0.920+1.575 \cdot X$	